

**VŠB – Technická univerzita Ostrava Fakulta
elektrotechniky a informatiky Katedra
elektrotechniky a informatiky**

**Regulace a řízení podvozku motorových vozidel
– moderní aktivní asistenční systémy**

**Chassis Control and Regulation – Modern
Active Assistance Systems**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Haščák**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika
Téma: **Regulace a řízení podvozku motorových vozidel - moderní aktivní asistenční systémy**
Chassis Control and Regulation - Modern Active Assistance Systems

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši koncepčních řešení a funkčních vlastností moderních aktivních asistenčních systémů.
2. Na základě instrukcí vedoucího proveďte praktické ověření vlastností vybraných vybraných typů asistenčních systémů s využitím sériové a paralelní diagnostiky.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

*„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“*

V Ostravě dne 6. 5. 2011

.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Petru Šimoníkovi za rady a připomínky k obsahu a formě zpracování a všem, kteří mi poskytli své automobily k praktickému měření.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá regulací a řízením podvozku motorových vozidel, tzv. moderními aktivními asistenčními systémy. Zaměřuje se na jejich popis a chování a vysvětluje princip funkce nejznámějších systémů, jako jsou ABS, ASR a ESP.

Teoretická část obsahuje detailní popis a princip funkčnosti aktivních asistenčních systémů ABS, ASR, ESP a zobrazuje jejich historii a vývoj. Současně popisuje a vysvětluje i princip funkčnosti jejich potřebných snímačů a akčních členů. Praktická část ověřuje vlastnosti těchto aktivních asistenčních systémů na více typech vozidel a ověřuje závislosti výstupních signálů použitých základních snímačů pomocí sériové a paralelní diagnostiky.

Klíčová slova:

Protiblokovací systém ABS, protipokluzová regulace ASR, elektronický stabilizační program ESP.

Abstract

This bachelor work deals with the regulation and chassis control of motor vehicle so-called modern active assistance systems. It focuses in their description and behavior and explains the function principle of the best known systems such as ABS, ASR and ESP.

The theoretical part contains the detailed description and function principle of ABS, ASR and ESP active assistance systems and depicts their history and development. At the same time it also describes and explains the function principle of their necessary sensors and active members. The practical part verifies properties of these active assistance systems on more types of automobiles and verifies the dependence of output signals of used basic sensors with the help of serial and parallel diagnostics.

Key words:

ABS Anti Blocking System, ASR Anti-Skid Regulation, ESP Electronic Stability Program.

1	Úvod	7
2	Teorie regulace a řízení podvozků	8
2.1	Protiblokovací systém ABS	8
2.1.1	Základní myšlenka funkce ABS a historie	8
2.1.2	Základní části systému ABS	10
2.1.3	Případ hydraulického zapojení a popis funkce	16
2.1.4	Strategie regulace	18
2.2	Protipokluzová regulace ASR	19
2.2.1	Obecný popis funkce ASR a historie	19
2.2.2	Princip a provedení ASR	20
2.2.3	Kontrola stavu a doplnění o regulaci brzdného momentu MSR	22
2.3	Elektronický stabilizační program ESP	23
2.3.1	Popis funkce, historie, bezpečnost provozu	23
2.3.2	Komponenty ESP – důležité snímače	25
2.3.3	Komponenty ESP – řídicí a hydraulická jednotka	38
2.3.4	Princip regulace jízdní dynamiky ESP	39
2.4	Další vývoj a trendy v oblasti asistenčních systémů	42
3	Ověřování vlastností asistenčních systémů	45
3.1	Měření na vozidle Škoda Octavia	45
3.2	Měření na vozidle Hyundai i30	47
3.4	Měření na vozidle Audi A6	49
3.5	Měření na vozidle Audi A4	54
3.6	Měření na vozidle VW Transporter	56
4	Závěr	60
5	Použité zdroje a citace	61

1. Úvod

Každý rok jsou kladeny větší požadavky na aktivní bezpečnost motorových vozidel. Cílem je co nejlepší koncepce aktivních asistenčních systémů tak, aby řidič ovládl svůj vůz při každé krizové situaci. Tyto systémy vznikají díky stále se zvyšujícímu provozu na silnicích, a tím tedy stále se zvyšujícímu počtu možných krizových situací. Nejvíce kritických situací má na svědomí tzv. lidský faktor, proto se tyto moderní asistenční systémy snaží eliminovat vliv lidského faktoru vhodným softwarem v řídicí jednotce asistenčního systému a tak bezpečně zvládnout vzniklou kritickou situaci. Tímto je docílena maximální možná bezpečnost posádky vozu.

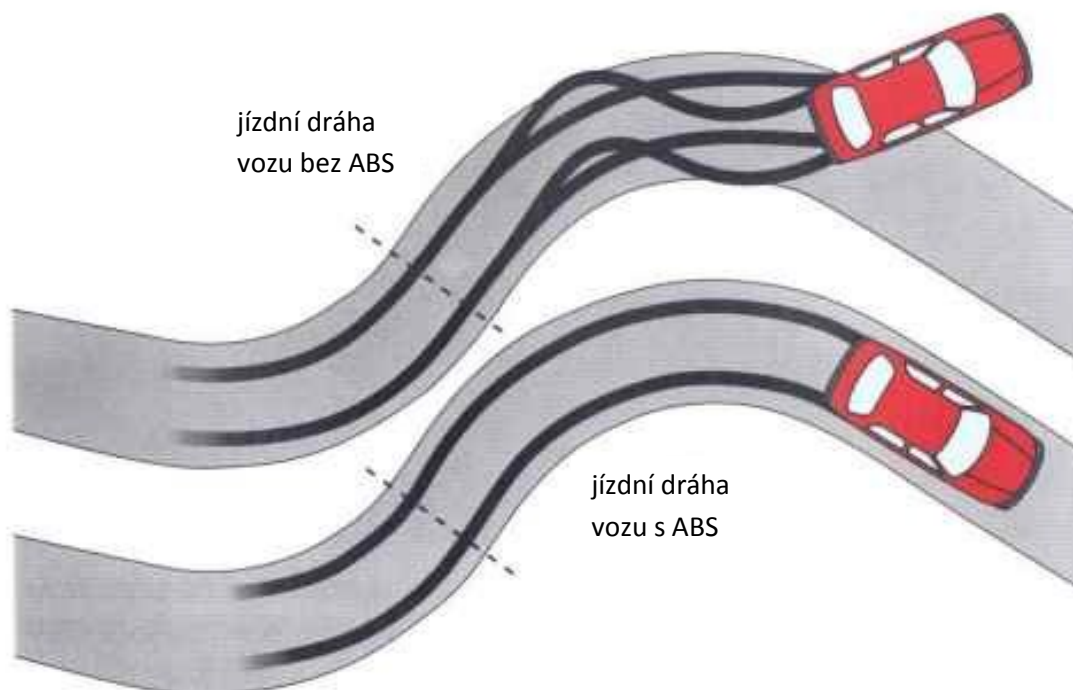
Dnešní moderní vozy oplývají mnoha různými systémy aktivní ochrany. Cílem této bakalářské práce je nejprve podrobněji popsat funkci nejčastěji se vyskytujících aktivních asistenčních systémů a následně vysvětlit, pro jaký účel jsou vhodné. Aktivní asistenční systémy obsahují čidla, snímače požadovaných hodnot, řídicí jednotku a akční členy. Pomocí sériové a paralelní diagnostiky budou v bakalářské práci dále ověřeny vlastnosti vybraných typů asistenčních systémů a jejich snímačů.

2. TEORIE REGULACE A ŘÍZENÍ PODVOZKU

2.1 Protiblokovací systémy ABS

2.1.2 Základní myšlenka funkce ABS a historie

Protiblokovací systém ABS (anti block system) byl vyvinut, aby zabránil zablokování kol při intenzivním brždění a tím předešel ztrátě ovladatelnosti bržděného vozidla a zkrátil jeho brzdnou dráhu. Tyto situace zpravidla nastávají při „lekavé“ reakci řidiče, který následkem toho vyvine velkou sílu působící na brzdový pedál. Při této situaci by se vozidlu bez ABS zablokovala kola a stalo by se neovladatelné. Vlivem intenzivního brždění by pokračovalo ve stejném směru i při následném manévrování řidiče. Zároveň při tomto brždění vzniká tzv. pluhový efekt, tj. po zablokování kola se začne materiál z pneumatiky v místě styku s vozovkou obrušovat a zahřívat. Tímto se snižuje součinitel tření a dochází k prodloužení brzdné dráhy vozu. Systém ABS koriguje tyto situace tím, že v kritickém okamžiku zabráňuje zablokování kol a tím zabráňuje ztrátě adheze mezi kolem a vozovkou. Díky systému ABS je dosaženo potřebné ovladatelnosti vozu a zkrácení brzdné dráhy i při prudkém brždění. Systém ABS je navržen tak, že i při případné závadě jsou kvůli bezpečnosti brzdy vozidla plně funkční, pouze se odpojí systém ABS a vozidlo se chová, jako by nebylo tímto systémem vybaveno.



Obr. 1 Porovnání chování vozu s ABS a bez ABS [1]





Systém ABS byl vyvinut firmou BOSCH v roce 1978. Historie však sahá ještě dál. Již na počátku 20. století se objevovaly úvahy o tom, jak by bylo možné zabránit blokování kol při prudkém brždění. Firma Bosch ohlásila již roku 1936 patent na „Zařízení k zabránění silného brždění kol motorového

vozidla“. Avšak teprve s příchodem elektronického řízení mohli inženýři vyvinout protiblokovací brzdový systém, který byl dostatečně rychlý a robustní pro použití v motorových vozidlech. [2]

Dceřiná firma koncernu Bosch, Teldix v roce 1964 pokračovala v této myšlence a již po dvou letech dosáhli její inženýři pokroku tím, že se zkrátila brzdná dráha automobilů, ve kterých byl zabudován uvedený systém ABS. Při zkrácení brzdné dráhy zůstala zachována říditelnost a jízdní stabilita vozidla v zatáčkách. Na tomto základě pak technici vyvinuli systém, u kterého regulační funkci brzd poprvé kompletně řídila elektronika. Tuto základní konstrukci nového konceptu můžeme nalézt ještě dnes v téměř všech systémech ABS a je známá pod označením ABS1. [3]

Pro sériovou výrobu však odolnost elektronického přístroje (obsahoval cca 1000 analogových konstrukčních prvků) nebyla dostatečná. Vedle snížení množství součástek bylo ještě nutné zdokonalit použité bezpečnostní obvody. Po dlouhém časovém úseku v délce trvání 14 let se díky rozvinutější digitální technice podařilo zredukovat původní množství z 1000 analogových prvků na pouhých 140. V roce 1978 dospěli inženýři ke konečné verzi systému ABS, který dostal pojmenování ABS 2 a začal se sériově vyrábět. [3]

První komerční uplatnění našel systém ABS jako zvláštní výbava vozu Mercedes-Benz třídy S a krátce na to také u BMW řady 7. [2]

25 let historie ABS 1978-2003				
generace	ABS 2	ABS 2E	ABS 5.3	ABS 8.0
hmotnost	6,7	4,9	2,6	1,6
počet součástek	140	40	25	16
velikost paměti v kByte	2	8	24	128

Tab. 1 Vývoj a miniaturizace systému ABS [1]

K dalšímu zdokonalení došlo v roce 1989, kde se podařilo odstranit kabeláž a tím spojit řídicí jednotku přímo s hydraulickým agregátem. Díky tomu již nemusely být použity málo odolné konektory, snížila se cena celého systému a současně také hmotnost. První systém s těmito úpravami se nazýval ABS 2E. V dnešní době se nejčastěji setkáváme se systémem ABS 5, který se liší od systému ABS 2E úpravou elektromagnetických ventilů. Jeho další výhodou je rovněž snížení počtu použitých součástek a s tím související snížení hmotnosti. Redukční ventil zadní nápravy byl nahrazen elektronickým systémem. Nejmodernější generace systému ABS 8 se poprvé začala vyrábět v roce 2001 a postupem času je stále zdokonalována. Do řídicí jednotky ABS byly postupně doprogramovány další funkce, jako jsou systémy ASR, ESP a další.

2.1.2 Základní části systému ABS

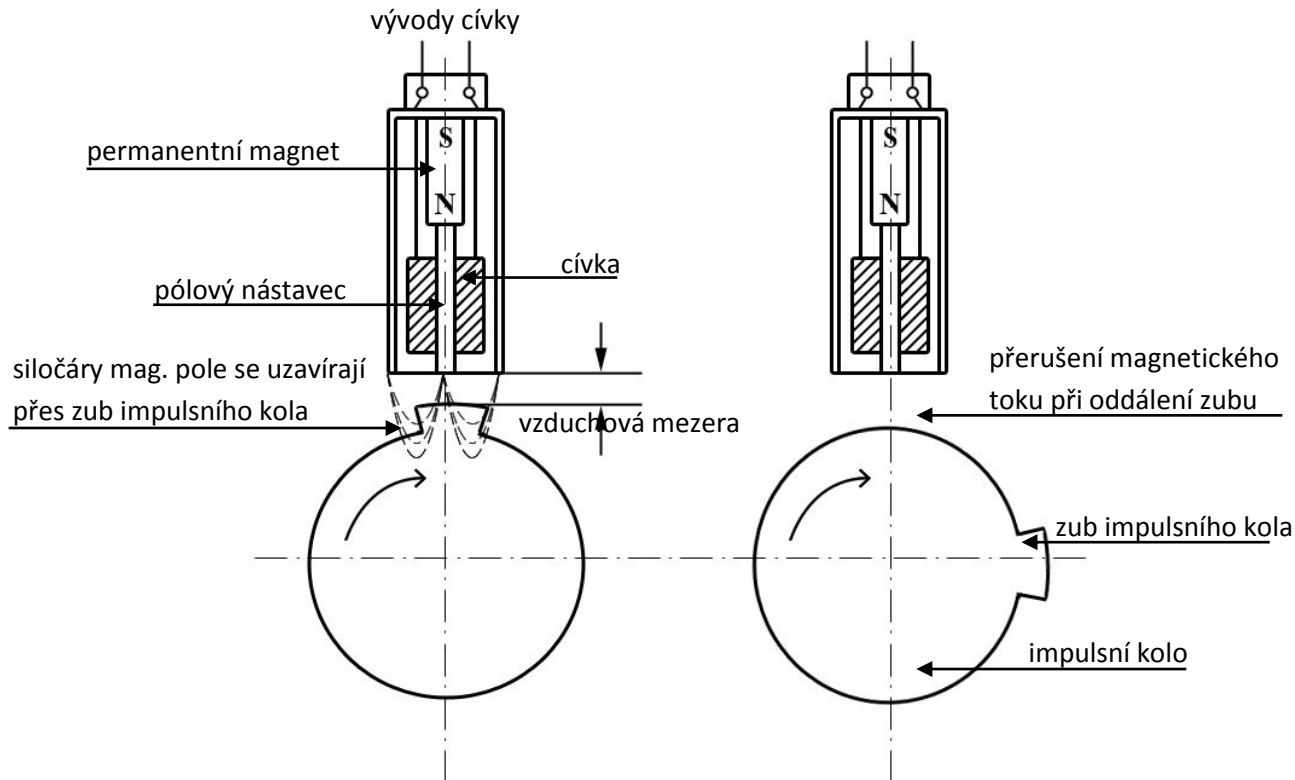
Základní částí každého asistenčního systému jsou snímače pro zjištění aktuálního stavu měřené veličiny, řídicí jednotka pro zpracování signálů z těchto snímačů a akční členy, které zajistí požadovanou odezvu. Celkový koncept systému ABS se skládá z těchto základních komponent:

1) Snímače otáček kol:

Signály z těchto snímačů jsou předávány řídicí jednotce, která je zpracuje a na jejich základě reguluje velikost brzdné síly pro příslušné kolo. Tyto signály jsou jednou z nejdůležitějších veličin pro regulaci brzdného systému. Na nejmodernějších vozech jsou použity čtyři snímače otáček (pro každé kolo jeden). Dále je možnost se setkat se třemi snímači, kdy dva snímače jsou použity pro přední kola a jeden pro zadní nápravu. Rozlišujeme dva druhy snímačů otáček, a to pasivní nebo aktivní snímače.

Pasivní snímače otáček mají pouze dvě kabelové přípojky. Jsou to nejpoužívanější typy snímačů a lze sem zařadit např. indukční snímače otáček. Tyto snímače nepotřebují žádné vnější napájení, protože při otáčení pulzního kola samy vytvářejí signál sinusového průběhu. Pokud chceme tyto signály vyhodnocovat v řídicí jednotce, je zapotřebí, aby řídicí jednotka byla vybavena příslušnými A/D převodníky pro převod signálů do obdélníkového tvaru.

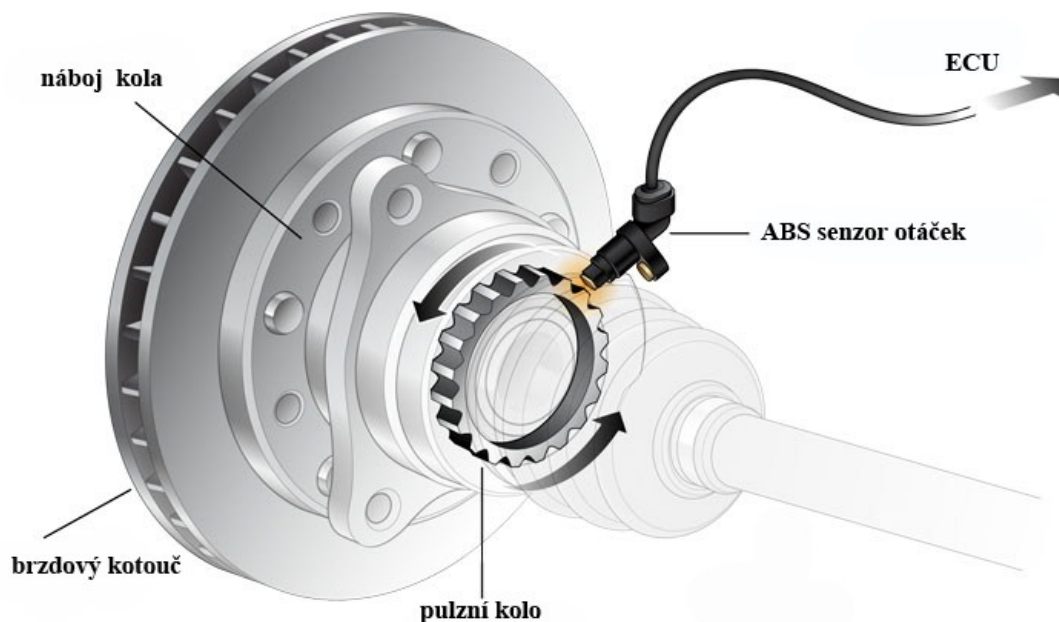
Pasivní snímače otáček (indukční snímače) jsou nejpoužívanější snímače pro systém ABS. Z hlediska měřené veličiny měří tento snímač úhel, který uběhne pulzní kolo za jednotku času. Jedná se tedy o snímání rychlosti vůči podvozku vozidla.



Obr. 2 Princip indukčního snímače otáček [4]

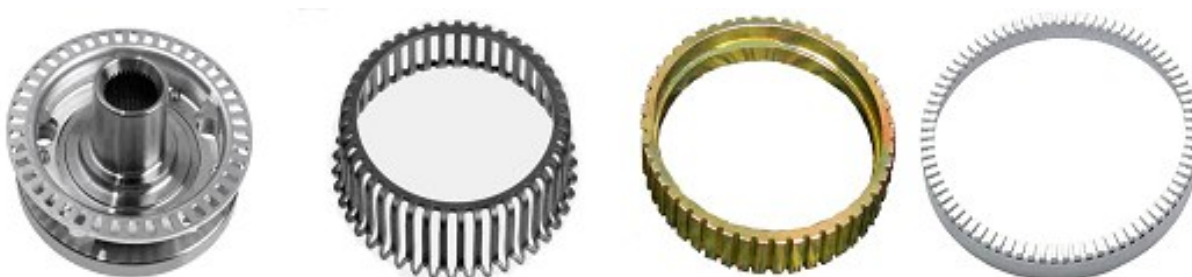
Legenda k obrázku 2: Při obíhání impulzního kola okolo snímače dochází k uzavírání magnetického toku přes zub kola (obrázek vlevo) a přerušování magnetického toku při oddálení zubu od snímače (obrázek vpravo). Změna magnetického toku způsobuje indukování napětí v cívkce.

Pasivní snímač otáček využívá princip magnetické indukce. Indukční snímač je složen z cívky na ocelovém jádře. Součástí jádra je permanentní magnet, jehož magnetický tok se uzavírá jádrem cívky a prochází přes zuby pulzního kola umístěného u náboje kola. Při otáčení pulzního kola se tedy střídají dva stavy a tím dochází k uzavírání magnetického obvodu buď přes ocelový zub, nebo přes vzduchovou mezeru. V závislosti na tom se mění i velikost magnetického toku v cívkce a indukují se střídavé napětí, jehož frekvence je stejná jako frekvence střídání zubů a mezer na pulsovém kole před snímačem otáček. Velikost indukovaného napětí je úměrná velikosti vzduchové mezery, počtu závitů cívky, otáčkách kola, remanentní (zbytkové) indukci permanentního magnetu a celkovém provedení magnetického obvodu. Při ustáleném stavu, tj. když se netočí impulsní kolo, je indukované napětí vždy nulové.



Obr. 3 Umístění snímače otáček kol [5]

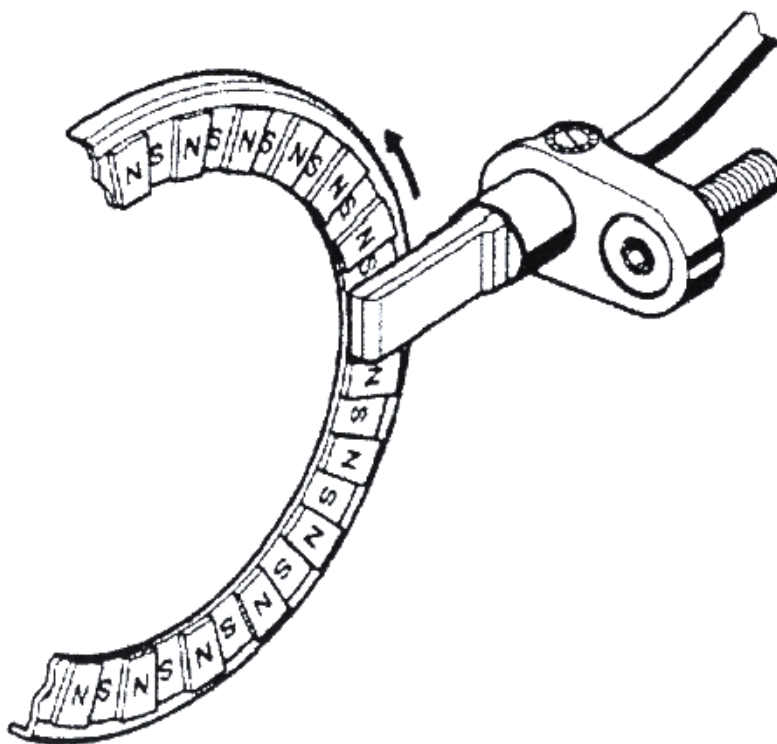
Reálná provedení impulsních kol, která jsou v současné době používána ve vozidlech, jsou vyobrazena na obr. 4.



Obr. 4 Reálná provedení impulsních kol [6]

Jelikož indukční snímače otáček využívají principu magnetické indukce, je tedy zřejmé, že výstupní signál těchto snímačů bude analogový a bude mít střídavý tvar. Amplituda tohoto signálu se může pohybovat v rozmezí od 0 až do 100V. Dostatečná amplituda je k dispozici cca od 30ot/min. Velkou nevýhodou těchto snímačů je, že jsou závislé na velikosti vzduchové mezery mezi snímačem a impulsním kolem. Proto je pro správnou funkčnost nutné udržovat tuto vzduchovou mezeru na konstantní úrovni. Při nedodržení této podmínky by vznikaly rušivé napět'ové pulzace, které by řídicí jednotka obtížně rozeznávala od správných signálů. Tyto chybné impulzy mohou snadno dosáhnout velké amplitudy, protože magnetický tok se mění exponenciálně se vzduchovou mezerou. Mezi výhody těchto snímačů patří velká odolnost proti elektromagnetickému rušení, nízké výrobní náklady a velký teplotní rozsah.

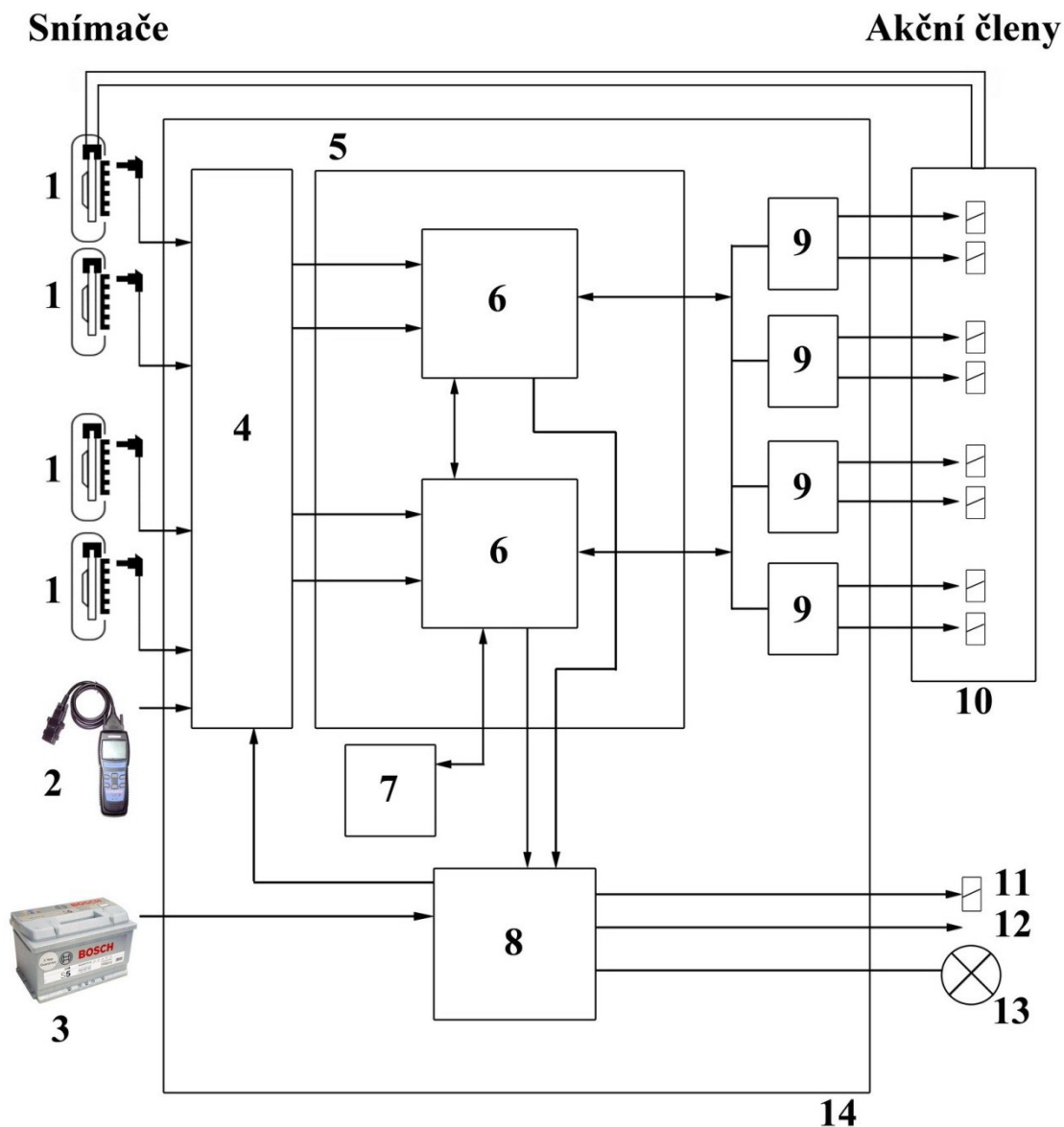
Aktivní snímače otáček potřebují ke své správné činnosti externí napájení, proto zde najdeme tři kabelové přípojky (plusový vstup, plusový výstup a minusové ukostření), popř. dvě kabelové přípojky (plusový vstup – napájení snímače, plusový výstup). Lze sem zařadit např. Hallův snímač otáček. Namísto pulzního kola se zde využívá vícepólový prstenec s elektromagnety, které mění svou polaritu. Výhodou tohoto řešení je velmi malá velikost a je tedy možné tyto snímače integrovat přímo do gufera kol. Použitý vícepólový prstenec vyvolává při otáčení střídání magnetických polí a tím mění vnitřní odpor snímače. Ve snímači je vždy integrována řídicí elektronika, která po celou dobu vysílá do snímače malý elektrický proud. Na tento vysílaný proud dostává řídicí jednotka ve snímači v každém okamžiku odezvu a vysílá do řídicí jednotky ABS obdélníkový signál. Frekvence proudu je úměrná otáčkám kola. Řídicí jednotka ABS tak může zpracovávat přijatý signál přímo bez použití A/D převodníků. Amplituda signálu je neměnná. Na rozdíl od pasivních snímačů jsou aktivní snímače schopny zajistit snímání i nepatrné změny rychlosti a vysílají signál, i když vozidlo stojí, a tak může řídicí elektronika rozpoznat i stojící automobil. Další výhodou tohoto snímače je, že umí rozpoznat směr otáčení vícepólového prstence, a tak např. zabránit couvání vozu.



Obr. 5 Aktivní snímač otáček [8]

2) Řídící jednotka ABS:

Nejdůležitější část systému tvoří tzv. elektrohydraulická jednotka, ve které se nachází řídicí systém ABS. Tento řídicí systém provádí výpočty a regulaci na základě naprogramovaných algoritmů. Výsledky prováděných operací jsou předávány hydraulické jednotce, která převede řídicí impulzy na požadované zásahy. Řídící jednotka ABS dále slouží ke kontrole, umožňuje diagnostiku celého systému a při chybě systému rovněž provádí varování řidiče.



Obr. 6 Řídící jednotka ABS [7]

Legenda k obrázku 6: (1) snímače otáček, (2) přípojka pro diagnostiku, (3) akumulátor, (4) vstupní obvod, (5) digitální regulátor, (6) digitální obvod, (7) energeticky nezávislá paměť, (8) stabilizátor napětí/paměť závad, (9) výstupní obvody s koncovými stupni, (10) páry elektromagnetických ventilů pro zvyšování a snižování tlaku, (11) relé, (12) stabilizované napětí akumulátoru, (13) kontrolka ABS, (14) blok elektronické řídicí jednotky

Pro správnou funkčnost jednotky musí být zajištěno dostatečné napájecí napětí. Toto napětí musí být alespoň 8,5V (osobní automobily s 12V sítí) při zapojení všech elektronických spotřebičů. Dále je definováno minimální napětí vstupujících signálů, které nesmí být nižší než 150mV. [8]

Princip rozpoznávání krizových situací je takový, že řídicí jednotka neustále porovnává referenční rychlost vozu s rychlostí na všech čtyřech kolech. Na základě vznikajících rozdílů zjišťuje zrychlení, zpomalení a skluz každého kola a vypočítává odpovídající řídicí impulsy pro hydraulickou jednotku. Referenční rychlost se zjišťuje ze dvou diagonálně umístěných kol. V případě náhlého snížení rychlosti jednoho ze čtyř kol pod naprogramovanou hodnotu oproti referenční rychlosti dochází (bez ohledu na polohu brzdového pedálu) k odpuštění brzdného tlaku na příslušném pomalejším kole a ihned po jeho odblokování se tento brzdný tlak obnovuje. Podle povahy vozovky probíhá za sekundu 4 až 10 takovýchto regulačních cyklů. Regulace ABS probíhá při rychlostech vyšších než 6 km/h a končí při rychlosti nižší než 3 km/h.



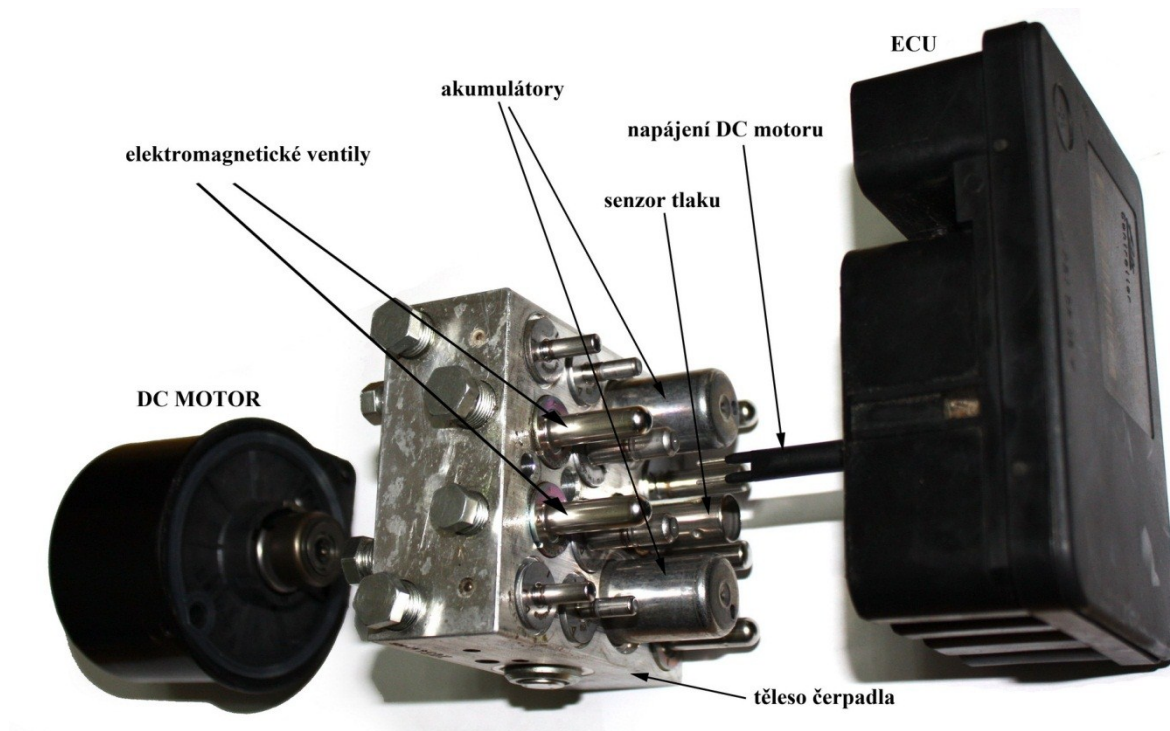
Obr. 7 Řídicí jednotka ABS s integrovanou funkcí ESP

3) Hydraulická jednotka – generátor brzdného tlaku:

Hydraulická jednotka provádí příkazy přijaté z řídicí jednotky ABS a pomocí elektromagnetických ventilů reguluje brzdné tlaky v hydraulickém brzdném obvodu, i když je řidičem vyvinutý mnohem větší tlak na brzdový pedál. Jedná se tedy o akční člen. Hydraulická jednotka se skládá z elektromagnetických ventilů a hydraulického čerpadla. Tato jednotka vytváří hydraulické spojení mezi hlavním brzdovým válcem v tandemovém zapojení a mezi brzdným kolovým válcem. Hlavní roli zde hrají elektromagnetické ventily, které mohou otevírat a uzavírat vedení hydraulické kapaliny a tím vytvářet propojení mezi hlavním hydraulickým válcem a brzdovými válečky nebo mezi brzdovými válečky a zpětným čerpadlem. Frekvence regulace je závislá na aktuálním povrchu vozovky a jízdním stavu. Tyto elektromagnetické ventily existují ve dvou variantách:

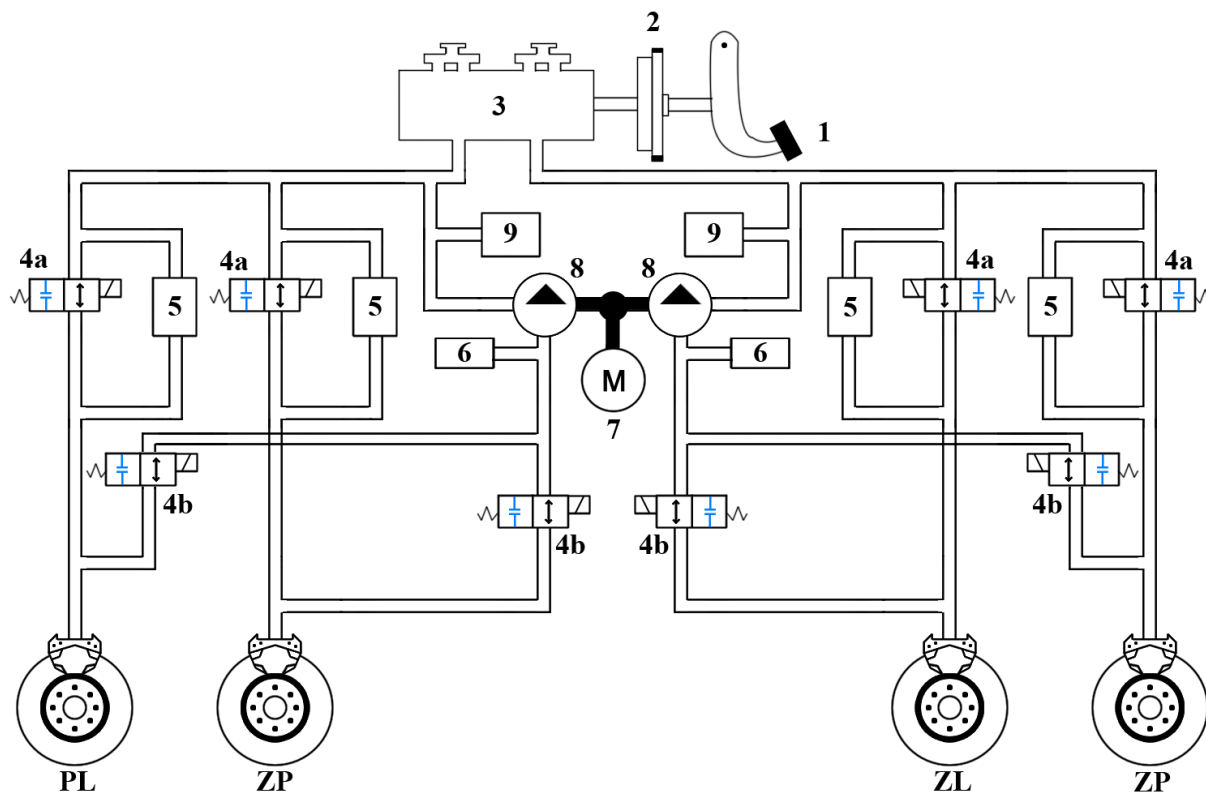
3/3 cestné ventily, což znamená, že mají tři spínací polohy a tři ukončovací řídicí členy. Jeden takový ventil dokáže nahradit dva samostatné 2/2 cestné ventily. Tento ventil reguluje tři základní stavy, kterými jsou zvýšení tlaku, udržování tlaku a snížení tlaku. Jelikož mezi zvyšováním a snižováním tlaku je vždy poloha udržování tlaku, nemohou být tyto ventily tak rychlé jako 2/2 cestné ventily, což je jejich hlavní nevýhodou. Tyto ventily se používají např. u systému ABS 2.

2/2 cestné ventily mají dvě spínací polohy a dva ukončovací řídicí členy. Třetí poloha pro udržování tlaku zde neexistuje, provádí se uzavřením vstupního a výstupního 2/2 cestného ventilu. Tyto ventily se používají např. u systému ABS 5. Pro každý regulovaný okruh jsou tedy použity právě dva ventily, což znamená, že při použití tříokruhového zapojení je potřeba šest těchto ventilů.



Obr. 8 Hydraulická část s elektromagnetickými ventily, zpětným čerpadlem a ECU

2.1.3 Příklad hydraulického zapojení a popis funkce



Obr. 9 Hydraulické propojení – Systém ABS 5 s 2/2 elektromagnetickými ventily - diagonální

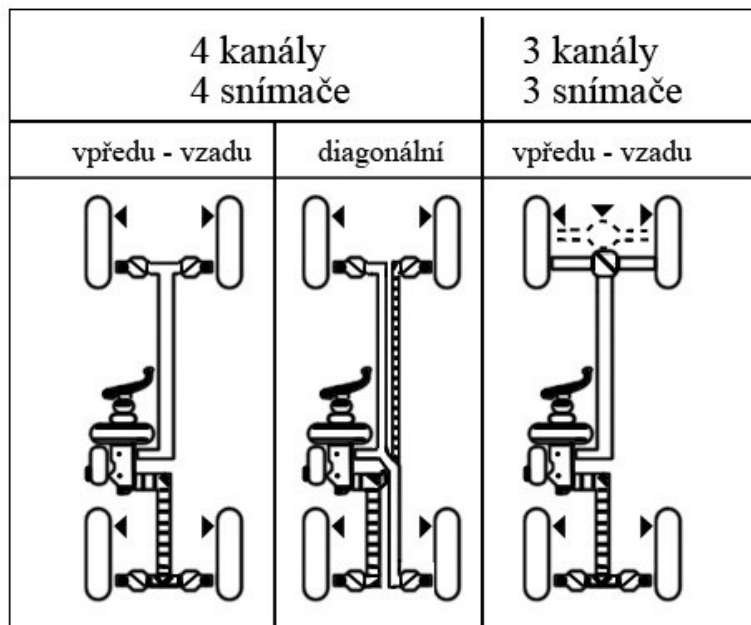
Legenda k obrázku 9: (1) brzdový pedál, (2) posilovač brzd, (3) dva brzdové válce spojené za sebou (tzv. tandem), (4a) čtyři vstupní elektromagnetické ventily, (4b) čtyři výstupní elektromagnetické ventily, (5) odvzdušňovací ventily pro redukci/zachování tlaku v brzdovém válci, (6) zásobník pro brzdovou kapalinu, (7) DC motor pohánějící zpětné čerpadlo, (8) zpětné čerpadlo, (9) tlumící komora (vysokotlaký akumulátor, který omezuje vznik hluku a pulzaci brzdového pedálu)

Hydraulický systém ABS 5 s rozdělením brzdného účinku na 2/2 elektromagnetické ventily má tři základní funkce, kterými jsou tzv. „zvýšení tlaku“, „udržování tlaku“ a „snížení tlaku“. Princip funkce ABS je tedy následující:

Protiblokovací systém ABS se aktivuje po zapnutí zapalování. Při jízdě měří každý ze čtyř snímačů rychlosti na jednotlivých kolech nebo v případě použití pouze tří snímačů jsou měřeny rychlosti na obou předních kolech a na diferenciálu zadní nápravy. Existuje několik různých variant zapojení systému ABS. Nejstarší byly varianty se dvěma a případně jedním kanálem. Existovalo několik funkčních omezení těchto variant systémů, a proto se v dnešní době již nepoužívají. Nejpoužívanější systémy jsou tedy tří a čtyřkanálové. Čtyřkanálové se dělí na jednoduché dvouokruhové zapojení, kdy regulace probíhá na všech čtyřech kolech nezávisle, a na diagonální, u kterého je využito principu „select low“ tzn., že zadní kolo, které jako první vykazuje sklon k zablokování, určí brzdný tlak i pro druhé zadní kolo, které má lepší adhezní podmínky. Tento princip zlepšuje stabilitu, ale nedosahuje se při něm maximálního brzdného účinku.

☐ regulační kanál

◀ snímač



Obr. 10 Varianty používaných systémů ABS [8]

Dále je vysvětlován princip funkce pro čtyřkanalový diagonální systém. Pro měření rychlosti kol u diagonálního systému je použito čtyř snímačů. Informace ze snímačů jsou předávány řídicí jednotce ABS, která vypočítává obvodovou rychlost jednotlivých kol. V případě, že řídicí jednotka rozpozná nebezpečí zablokování jednoho z kol, vyšle řídicí impuls do hydraulické jednotky, která spustí zpětné čerpadlo. Velikost brzdné síly pro každé kolo je pak regulována pomocí dvou elektromagnetických ventilů pro každé kolo. Na zadní nápravě je velikost brzdného účinku posuzována podle principu „select low“, který je popsán výše.

Pokud tedy nastane požadavek na brždění, je systém nastaven na tzv. „**zvýšení tlaku**“. Jedná se o výchozí stav při běžném brždění. Vstupní ventil (4a) je otevřený a výstupní ventil (4b) je uzavřený. Brzdná síla je inicializována řidičem přes brzdový pedál v hlavním brzdovém válci (3), který je díky nastavené kombinaci elektromagnetických ventilů přímo propojen s brzdovými válečky kol. Při tomto stavu neprotéká proud ani vstupním, ani výstupním ventilem.

Další možný stav může nastat při riziku zablokování kol, systém proto přechází do fáze „**udržování tlaku**“, aby zabránil dalšímu zvyšování brzdného tlaku a tím zablokování kol. V tomto stavu dojde ke krátkodobému průtoku proudy, a to pouze vstupním ventilem (4a), který se následkem toho uzavírá a zůstává uzavřen. Výstupní ventil (4b) je nadále zavřený. Tím se zablokuje spojení mezi hlavním brzdovým válcem (3) a brzdovými válečky kol. Toto probíhá nezávisle na požadavku řidiče.

Pokud i nadále dochází k blokaci kol, řídicí jednotka přepíná do stavu „**snížení tlaku**“. Přitom vstupní ventil (4a) zůstává nadále uzavřen, ale výstupní ventil (4b) se krátkodobě otevírá. Aktivuje se zpětné čerpadlo, které odčerpá tlak z brzdných válečků na kolech a tím dochází k odblokování kol.

Celý popisovaný děj se neustále opakuje až do úplného zastavení vozu. Frekvence opakování je závislá na mnoha podmínkách, např. na intenzitě brždění, stavu vozovky a dalších.

2.1.4 Strategie regulace

1) Individuální regulace (IR)

Každé kolo je regulováno samostatně. Systém se skládá ze čtyř čidel, stejného počtu akčních členů a čtyř regulačních kanálů (platí pro dvounápravové vozidlo). [8]

Výhoda: Nejkratší brzdná dráha, protože se u každého kola optimálně využívá tření mezi pneumatikami a vozovkou. [8]

Nevýhoda: Automobil může na vozovce, která je na jedné straně kluzká, následkem velkých rozdílů mezi brzdnými silami vybočit z dráhy, jestliže řidič dostatečně rychle a s příslušnou silou neotočí volantem proti. Systém tedy nezaručuje dostatečnou směrovou stabilitu. [8]

2) Modifikovaná individuální regulace (MIR)

Používá se na přední nápravě v kombinaci s individuální regulací (IR) na zadní nápravě. Kritické kolo na dané nápravě (tj. kolo s nižší adhezí) se přiměřeně redukováným adhezním třením udržuje těsně pod hranicí zablokování, zatímco druhé kolo na stejné nápravě se přiměřeným zvětšováním adhezního tření pomalu přivádí až na hranici zablokování. [8]

Výhoda: Řidič může při dobrém využívání adhezního tření udržet automobil ve stopě jen malým otočením volantu. [8]

3) Regulace select-low (SLR)

V tomto případě je určen brzdový tlak pro obě kola jedné nápravy kritickým kolem (kolem s nižší adhezí). Zatímco blokující kolo brzdí optimálně, na druhém kole (tzv. high-kole) se brzdový účinek nevyužívá naplno. [8]

Výhoda: Dobrá jízdní stopa na vozovce, která je na jedné straně kluzká, protože je možné setrvačné momenty udržet na nízkých hodnotách. [8]

Nevýhoda: Na vozovce, která je na jedné straně kluzká, je brzdná dráha o něco delší než při postupném brždění. [8]

Postupným vylepšováním elektronické části systému ABS vznikaly další nadstavby jako je například systém ASR (Anti Skid Regulation) protiprokluzová regulace, ESP (Electronic Stability Program) elektronická stabilizace podvozku a mnohé další. Systémy ASR a ESP jsou popsány v dalších kapitolách.

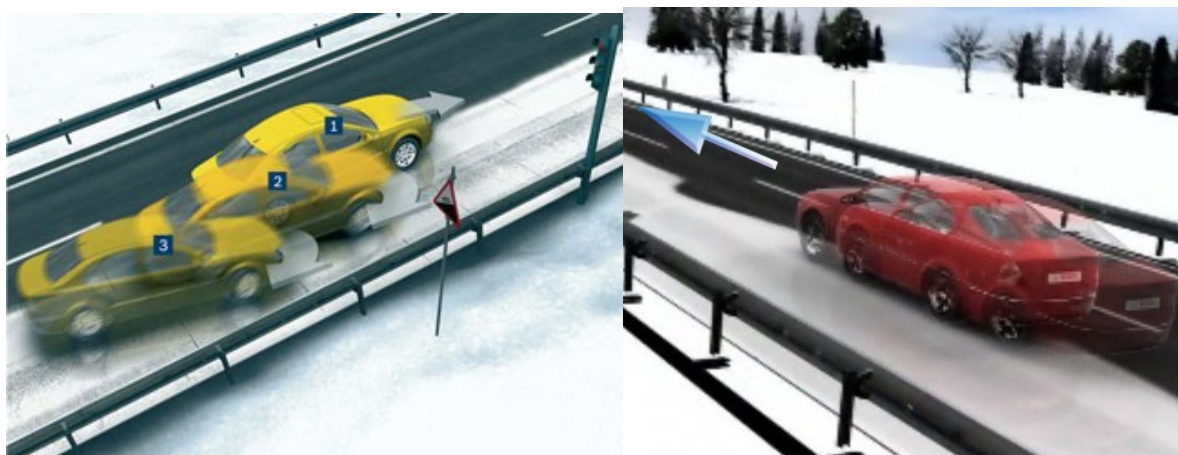
2.2 Protiprokluzová regulace ASR

2.1.1 Obecný popis funkce ASR a historie

Dalším rozšířením systému ABS je systém protiprokluzové regulace ASR (Anti Skid Regulation), který byl vyvinut za účelem hlídání a korekce přetáčení kol. Kritické situace nevznikají jen při náhlém brždění, ale i při akceleraci nebo rozjezdu vozu. Přitom může docházet k prokluzu hnacích kol a tím ke ztrátě ovladatelnosti vozu, protože protáčející se kolo ztrácí svou boční sílu. Úkolem systému protiprokluzové regulace ASR je přibrzdění kola, u kterého dochází k prokluzu a tím zajištění potřebné ovladatelnosti vozu v rámci fyzikálních zákonů. Další příznivá vlastnost tohoto systému je, že zajišťuje optimální přenos hnací síly na vozovku a tím zabraňuje nadměrnému opotřebování pneumatik vozu. Regulace je prováděna buď upravením točivého momentu motoru, nebo přibrzdováním příslušného kola pomocí brzdné soustavy automobilu.

Protiprokluzová regulace ASR je rozšířením protiblokovacího systému ABS, z toho plyne i používané označení ABS/ASR. Řídící jednotka ABS je rozšířena o část s ASR, která využívá ke své funkci již existující systém ABS. Řídící jednotka ABS/ASR, hydraulická jednotka a DC motor tvoří jeden celek. Aby ASR mohlo zasahovat nezávisle na požadavku řidiče, bylo nutné nahradit mechanické řízení akcelerace systémem elektronického akceleračního pedálu EGAS.

Systém protiprokluzové regulace ASR vyvinula firma Bosch v roce 1986. Historicky první zařízení pro kontrolu trakce, které bylo uvedeno do sériové výroby, bylo ETC (Electronic Traction Control), které vyvinula firma VOLVO v roce 1982. Automobilky dále upravovaly tuto myšlenku, a tak vznikalo mnoho názvů pro podobně pracující systém, např. TCS (Traction Control System), DTC (Dynamic Traction Control), ETS (Electronic Traction System). Protiprokluzová regulace ASR od firmy BOSCH byla poprvé sériově montována do vozů Mercedes-Benz v polovině osmdesátých let. Postupem času dalšími úpravami a vylepšeními vznikly systémy ABS/ASR 2, ABS/ASR 5 a ABS/ASR 8.

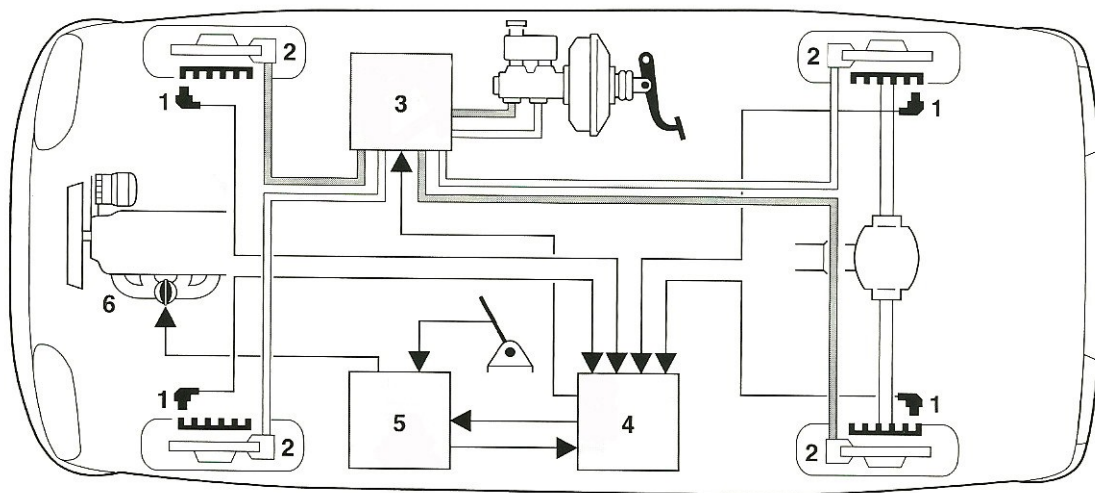


Obr. 11 Porovnání chování vozu s ASR (vpravo) a bez ASR (vlevo) [9]

Legenda k obrázku 11: (1) Vůz vlevo není vybaven systémem ASR, řidič zastaví v kopci a chce se rozjet, dochází k prokluzu kol a ztrátě boční síly kol. (2) Kola nepředávají hnací sílu na vozovku. (3) Vozidlo jde do nekontrolovaného smyku. Vůz vpravo je vybaven systémem ASR, nedochází ke ztrátě boční síly kol při rozjezdu a tím k nekontrolovatelnému smyku vozu.

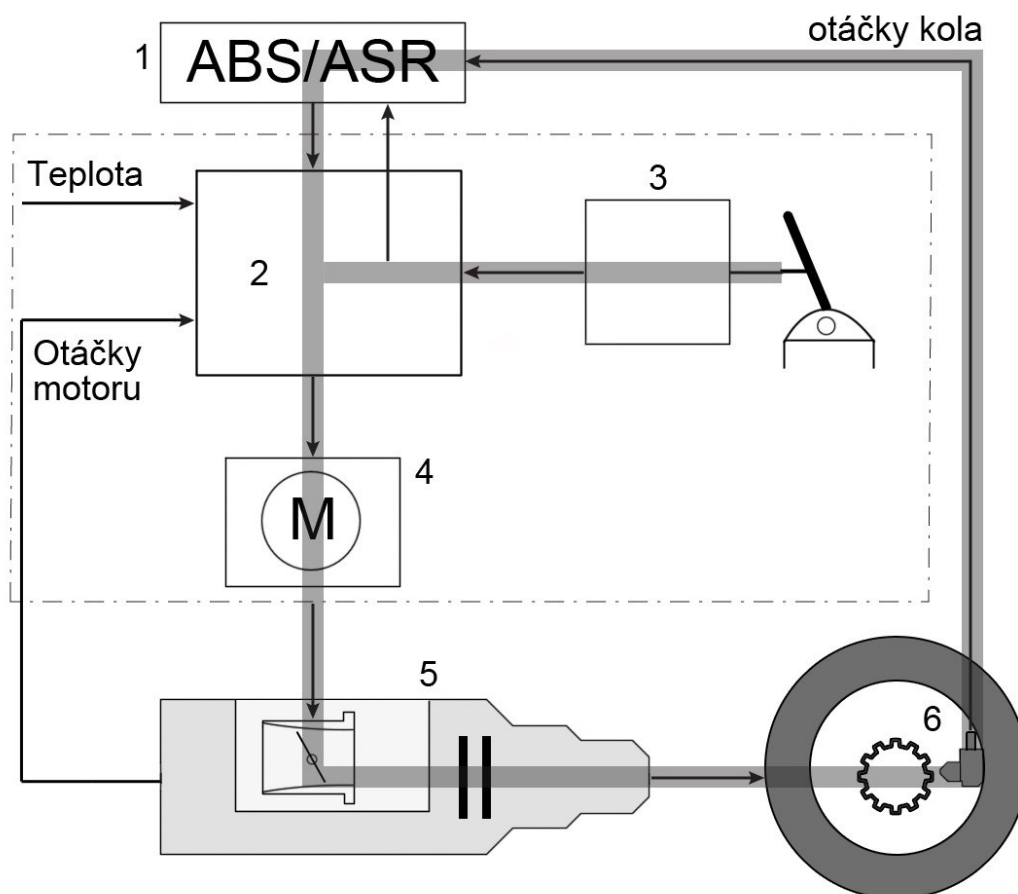
2.1.2 Princip a provedení ASR

Základní koncepce systému regulace prokluzu ASR je podobná jako u protiblokovacího systému ABS. I zde se využívají snímače pro zjištění aktuálního stavu měřené veličiny, řídicí jednotka pro zpracování signálů z těchto snímačů a akční členy, které zajistí požadované dění. Využívají se tedy komponenty systému ABS, který je doplněn o některé další funkce viz obr. 12:



Obr. 12 Systém ASR se zásahy do brzdové soustavy a do polohy škrticí klapky [7]

Legenda k obrázku 12: (1) Snímače otáček slouží k výpočtu obvodové rychlosti kol, tyto informace jsou dále předávány na vstupní obvody (4) řídicí jednotky ABS/ASR, která z přijatých informací vypočítává skluz pro každé kolo. Když je na jednom z poháněných kol skluz příliš vysoký, aktivuje se regulace ASR. Pro účely bezpečnosti jsou signály ze snímačů otáček zpracovávány ve dvou paralelně pracujících mikroprocesorech. Tyto signály jsou dále předávány ve formě regulačních příkazů do (3) hydraulické jednotky ABS/ASR, která pomocí elektromagnetických ventilů a čerpadla reguluje brzdný moment prostřednictvím (2) brzd na jednotlivých kolech. Pomocí dalšího rozhraní na (4) řídicí jednotce ABS/ASR jsou předávány zpracované informace také řídicí jednotce (5) Motronic, která zajišťuje management motoru, tj. nastavování (6) škrticí klapky u zážehového motoru nebo (6) vstřikovacího čerpadla u vznětového motoru.



Obr. 13 Elektronické řízení výkonu motoru EGAS pro ASR [7]

Legenda k obrázku 13: (1) řídicí jednotka ABS/ASR, (2) řídicí jednotka Motronic s EGAS, (3) snímač akceleračního pedálu, (4) nastavovací motorek, (5) škrticí klapka nebo vstřikovací čerpadlo, (6) snímač otáček

Jak již bylo uvedeno, pro správnou funkci systému ASR je potřeba využít elektronické řízení výkonu motoru. Používá se k tomu systém nazývaný EGAS (Elektronisches Gaspedal) nebo ETC (Electric Throttle Control). Tyto řídicí systémy jsou integrovány v řídicí jednotce Motronic. Pomocí snímače polohy akceleračního pedálu se získává informace o aktuálním požadavku akcelerace od řidiče. Tento signál je jedním ze vstupních signálů do řídicí jednotky Motronic, která obsahuje systém EGAS/ETC. Další vstupní signály jsou např. teplota nebo otáčky motoru. Řídicí jednotka vyhodnocuje v každém okamžiku všechny přijímané vstupní signály a na jejich základě generuje řídicí elektrické napětí pro nastavovací motorek, který pohybuje škrticí klapkou v případě zážehového motoru nebo regulační tyčí vstřikovacího čerpadla v případě vznětového motoru a řídí tak hnací moment motoru. Když řídicí jednotka ASR rozpozná z přijímaných signálů otáček kol příliš velký skluz jednoho z poháněných kol, tak se kolo se sklonem k prokluzu přibrzdí bez zásahu řidiče. Zároveň jsou informace o regulaci předávány řídicí jednotce Motronic, která na to paralelně zasahuje regulací přebytečného hnacího momentu. Je tedy zřejmé, že zde dochází ke dvěma současným regulacím:

a) Motorová regulace ASR

Tuto regulaci provádí řídicí jednotka Motronic s integrovaným systémem EGAS nebo ETC. Jedná se o regulaci přebytečného hnacího momentu motoru při zásahu ASR. Hnací moment je regulován na optimální prokluz.

U zážehových motorů může být regulováno vstřikování paliva, zapalování a poloha škrtkic klapky. Z hlediska pohodlí, zatížení motoru a složení výfukových plynů má zásah do plnění palivem přes škrtkic klapku nejvíce výhod. Nevýhoda daná relativně pomalou reakční dobou může být odstraněna přidáním zásahem do vstřikování a do zapalování. Při zásahu do zapalování je okamžik zážehu posunut později, aby se zmenšil točivý moment motoru. Jestliže nestačí toto opatření, jsou vynechány zapalovací impulsy. V tomto případě musí být také přerušeno vstřikování paliva, aby se příliš nezhoršilo složení výfukových plynů a nebyl přetížen katalyzátor výfukových plynů. Samotné přerušování vstřikování přináší poněkud pomalejší záběr, poněvadž motor ještě nasává a spaluje již připravené palivo. Samotný zásah do vstřikování a zapalování bez zásahu do ovládání škrtkic klapky postačuje pro vozidla s menšími požadavky na komfort. [7]

U vznětových motorů může být regulováno množství vstřikovaného paliva pomocí elektronického řízení akceleračního pedálu. Snímač polohy akceleračního pedálu předává informaci o své poloze řídicí jednotce EGAS. Tato jednotka generuje řídicí elektrické napětí pro nastavovací motorek, který pohybuje regulační tyčí vstřikovacího čerpadla a dle požadavků zvyšuje nebo snižuje množství vstřikovaného paliva.

b) Brzdová regulace ASR

Použitím pouze motorové regulace je dosaženo maximálního komfortu pro posádku vozu. V případě, kdy je požadavek na co možná nejkratší reakční dobu, se využívá brzdová regulace. Tato malá reakční doba je docílena tím, že při nárůstu brzdného tlaku je bezprostředně ovlivňován skluz hnacího kola. Z tohoto případu je rovněž patrná spolupráce systémů ASR a ABS.

2.1.3 Kontrola stavu a doplnění o regulaci brzdného momentu MSR

Každý automobil, který je vybaven systémem regulace prokluzu ASR, musí být rovněž vybaven kontrolkou stavu tohoto systému, která je umístěna na přístrojové desce a vypínačem ASR. Při pootočení klíčku v zapalování do polohy 1 se tato kontrolka rozsvítí a po nastartování zhasne. Pokud je v systému ASR detekována závada nebo jej řidič vypne, zůstává tato kontrolka trvale rozsvícena.

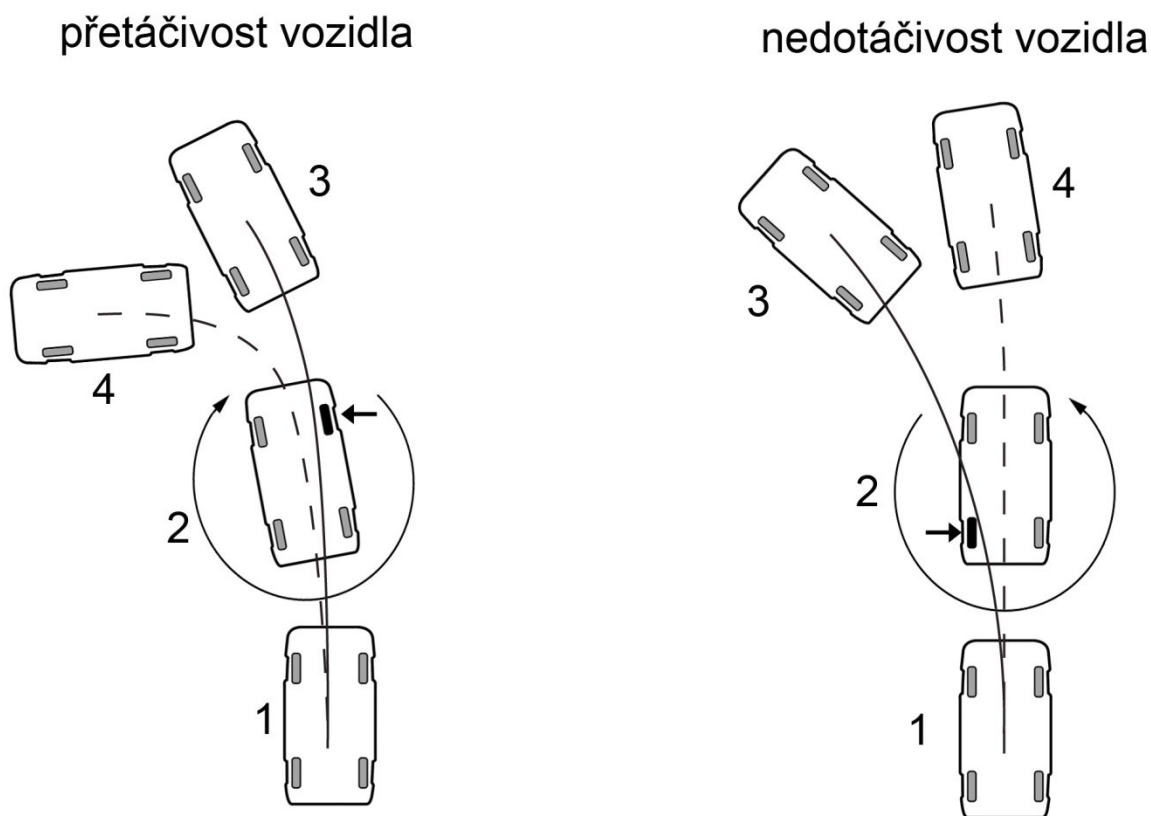
ABS/ASR je možné doplnit o regulaci brzdného momentu MSR. Tento systém využívá všech již nainstalovaných komponent a není tak třeba doplnění o další snímače či akční členy. Funkce tohoto systému je možná díky propojení řídicí jednotky ABS s řídicí jednotkou motoru. Při prudkém uvolnění akceleračního pedálu nebo při podřazování může dojít vlivem brzdného účinku motoru na hladké vozovce k zablokování hnaných kol a tak k ovlivnění stability vozu. Systém MSR reguluje takovéto chování vozidla mírným přidáním plynu, tím dojde ke zvýšení točivého momentu motoru a ke zlepšení jízdní stability vozidla.

2.3 Elektronický stabilizační program ESP

2.3.1 Popis funkce, historie, bezpečnost provozu

Elektronický stabilizační program ESP je systém, který aktivně využívá brzdovou soustavu vozidla a spolupracuje se systémy ABS a ASR. Na základě získaných hodnot systém ESP „řídí“ vozidlo přibrzdováním jednotlivých kol a rovněž může řízenými zásahy do motoru zrychlit poháněná kola a tak přispět k navýšení stability vozu. ESP stejně jako ASR je pouze doplněk k prvotnímu systému ABS a obvykle jsou všechny tyto systémy integrovány v jedné řídicí jednotce a spolu s hydraulickou jednotkou a DC motorem tvoří jeden celek. Na rozdíl od systémů ABS a ASR, které umožňují regulaci skluzu nebo prokluzu pouze v podélném směru, umožňuje ESP regulaci i v příčném směru, zabraňuje ztrátě bočního vedení pneumatik a tím možného nebezpečného smyku vozidla.

Systém ESP pracuje na principu strategického řízení přibrzdování jednotlivých kol vozidla a tak umožňuje dodatečné řízení vozidla. Při průjezdu zatáčkou mohou vzniknout dvě základní kritické varianty chování vozu, kterými jsou přetáčivost a nedotáčivost. ESP v každém okamžiku vyhodnocuje signály ze snímačů a na jejich základě např. provádí cílené brždění pravého předního kola při přetáčivosti nebo brždění levého zadního kola při nedotáčivosti v levotočivé zatáčce. Pokud je potřeba, může ESP rovněž urychlit hnací kola a tím docílit potřebné stability. Primárním cílem je vždy udržet vozidlo při průjezdu zatáčkou, při brždění, při zrychlení nebo jen při volném pohybu, stabilní a v původní jízdní stopě.



Obr. 14 Přetáčivé a nedotáčivé chování vozu při průjezdu levotočivou zatáčkou

Legenda k obrázku:

a) přetáčivost vozidla

(1) Automobil vjíždí do levotočivé zatáčky. (2) Dochází k zaznamenání přetáčivosti vozu systémem ESP a ke korekci rychlosti pravého předního kola. (3) Automobil s ESP udržuje požadovanou jízdní stopu. (4) Automobil bez ESP dostává přetáčivý smyk.

b) nedotáčivost vozidla

(1) Automobil vjíždí do levotočivé zatáčky. (2) Dochází k zaznamenání nedotáčivosti vozu systémem ESP a ke korekci rychlosti levého zadního kola. (3) Automobil s ESP udržuje požadovanou jízdní stopu. (4) Automobil bez ESP ztrácí požadovanou stopu a vyjíždí ze silnice.

Historie systému ESP se začala psát v březnu roku 1994, kdy představil Daimler-Benz ve spolupráci s firmou Bosch elektronický stabilizační systém pod názvem FDR. Tento systém se o rok později dostal na trh pod označením ESP. Historicky prvním vozidlem s tímto systémem byl Mercedes-Benz třídy S. Tento systém byl dostupný pouze u nejluxusnějších a nejdražších modelů automobilky. K masovému rozšíření došlo až díky nehodě, která se stala ve Švédsku při testování nového modelu Mercedes-Benz třídy A. Tento vůz si nedokázal poradit s tzv. „losím testem“ a převrátil se. Při losím testu se zjišťují možnosti vozu při náhlém vybočení. V reakci na tento neúspěch začala firma Mercedes-Benz standardně montovat systém ESP do všech svých vozů. [10]

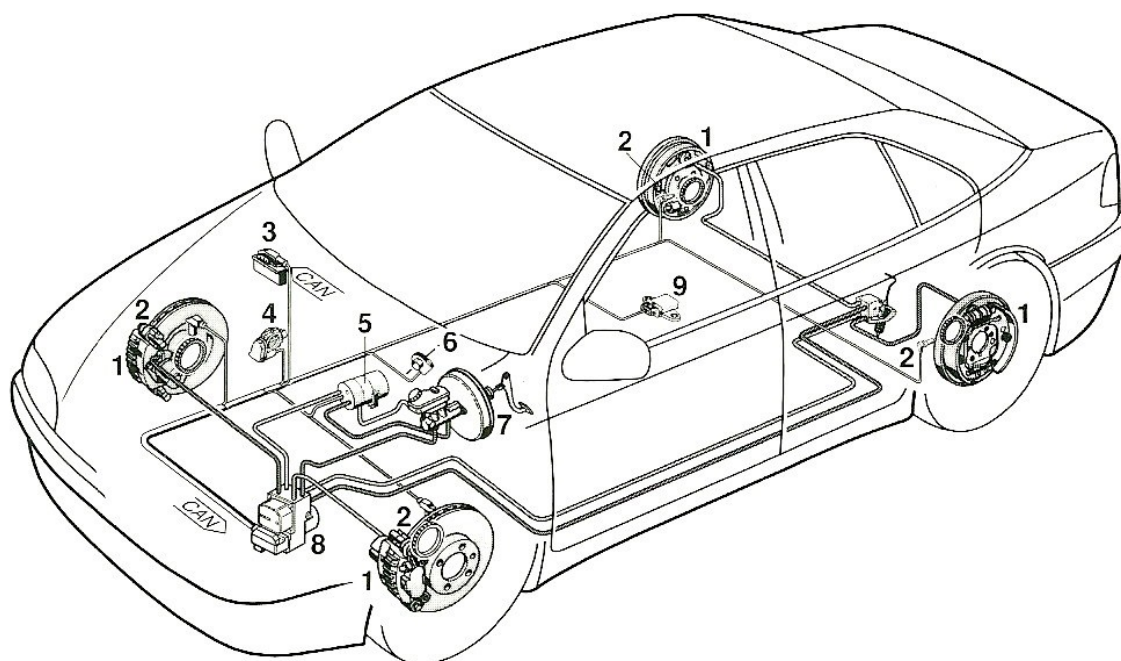
První generace systému ESP byla ve znamení vývoje hydraulického systému pro zajištění požadovaného brzdného tlaku a zdokonalování řídicí jednotky. Řídicí jednotka z první generace ESP pracovala se dvěma procesory, každý z nich měl k dispozici 2x48kB paměti. Od zahájení výroby v roce 1995 inženýři vyvíjeli a zdokonalovali tento systém a tak v roce 1996 došlo k prvnímu vylepšení výkonu výpočetní jednotky a navýšení paměti ze 2x48kB na 2x56kB. V roce 2000 šel do výroby systém ESP, který již měl k dispozici paměť 2x120kB a převzal ovládání standardního brzdového asistenta. [10]

V roce 2010 zahájila firma Bosch sériovou výrobu elektronických brzdových asistenčních systémů 9. generace. V porovnání s předchozí verzí bylo dosaženo snížení hmotnosti až o 30 procent. Nejlehčí systém ESP nyní váží pouhých 1.6 kg. V závislosti na přídatných funkcích vozu mohou výrobci automobilů volit mnoho variant ESP, např. při použití adaptivního tempomatu ACC (Adaptive Cruise Control) je vyžadováno časté a mírné přibrzdování až do úplného zastavení. Firma Bosch tento požadavek vyřešila speciálně uzpůsobenými elektromotory a čerpadly, které umožňují regulovat brzdný tlak téměř nehlukně a bez vibrací. Hardware i software 9. generace systému ESP lze přizpůsobit flexibilně každému konkrétnímu vozu. [11]

Po zavedení systému ESP bylo mnoha studiemi bezpečnosti provozu prokázáno, že skutečně má tento systém velký vliv na bezpečnost provozu. V roce 2004 např. DaimlerChrysler prokázal, že po zavedení sériové výroby ESP do každého vozu Mercedes poklesl podíl celkového počtu nehod způsobených řidičem v Německu asi o 42 procent. Toto zjištění potvrzuje i vládní úřad NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), který zaznamenal v období mezi roky 1997 až 2002 o 35 procent nižší počet nehod způsobených řidičem v osobních vozidlech, které byly vybaveny systémem ESP. Vzhledem k tomu, že má tento systém velmi velký vliv na bezpečnost provozu, se počínaje rokem 2014 budou všechny nové vozy vyrobené v Evropě vybavovat systémem ESP povinně. Nařizuje to Evropská komise. [12]

2.3.2 Komponenty ESP – důležité snímače

Elektronický stabilizační systém vyžaduje ke své správné činnosti osazení mnoha dalších snímačů do již existujícího systému ABS/ASR. Díky propojení a spolupráci se systémem ABS/ASR jsou již ve vozidle standardně namontovány snímače otáček kol (kapitola 2.1.2) a snímač polohy plynového pedálu. Pro správnou funkci ESP je potřeba do systému dále doplnit snímač úhlu natočení volantu, snímač stáčivé rychlosti a snímač bočního zrychlení. Tyto snímače jsou potřebné pro správný výpočet zásahů ESP, které jsou prováděny pomocí hydraulického brzdného systému vozu a regulací hnacího momentu motoru.



Obr. 15 Úplný regulační systém ESP [7]

Legenda k obrázku 15: (1) brzdy kol, (2) snímače otáček, (3) řídicí jednotka, (4) nastavovač škrticí klapky, (5) předřadné čerpadlo se snímačem neregulovaného brzdného tlaku, (6) snímač úhlu natočení volantu, (7) posilovač brzdného účinku s hlavním válcem, (8) hydraulická jednotka (Bosch 5.3), (9) snímač stáčivé rychlosti se snímačem bočního zrychlení

1) Snímač úhlu natočení volantu G85

K řízení vozidla pomocí ESP je nutné znát požadovaný směr vozidla, který určuje řidič skrze volant. Tento směr lze získat použitím snímače úhlu řízení. V řídicí jednotce se porovnává signál získaný z tohoto snímače se skutečným otáčivým pohybem vozidla a vyhodnocuje se tzv. „plovoucí úhel“ (tj. odchylka mezi osou vozidla a pohybem vozidla). Pokud je detekován příliš velký plovoucí úhel, zasahuje ESP skrze brzdňý systém vozu tak, aby udržel tento úhel co nejmenší.

Pro snímání úhlu natočení volantu je možno použít mnoho odlišných principů snímání. Mezi nejzákladnější bezkontaktní snímače patří např. snímače snímající úhel na optickém principu nebo snímače využívající Hallova principu. Do skupiny kontaktních snímačů můžeme zařadit např. snímače využívající princip potenciometru. K zajištění bezpečnosti je nutné používat snímače, které se umí sami diagnostikovat, a tak zaručit svoji správnou funkčnost a věrohodnost signálu.

Hlavním úkolem tohoto snímače je předávat informace o úhlu natočení volantu řídicí jednotce ABS s funkcí ESP. Pracovní oblast snímače je $\pm 720^\circ$, což odpovídá plným čtyřem otáčkám volantu. Snímač musí během své životnosti snímat úhel s odchylkou menší než $\pm 5^\circ$. Při selhání snímače úhlu natočení volantu ESP nedokáže určit požadovaný směr vozu a tím je ESP ihned vyřazeno z provozu při současném upozornění závady na palubní desce.

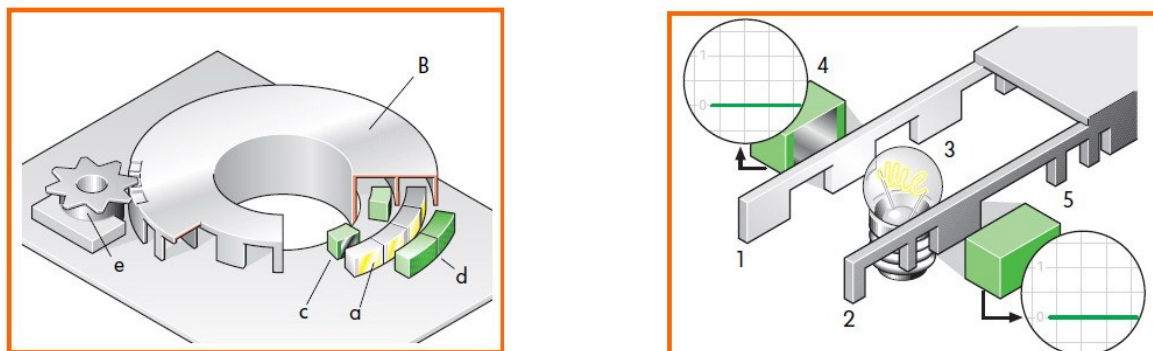
Při výměně tohoto snímače se musí provádět re-kalibrace na tzv. „nulovou pozici“. Při sériové diagnostice se mohou vyskytnout tyto závady:

- senzor úhlu natočení volantu – žádná komunikace
- špatné nastavení
- nevěrohodný signál
- mechanická chyba

Komunikace toho snímače s řídicí jednotkou je realizována prostřednictvím sběrnice CAN-BUS. Po zapnutí zapalování se senzor sám inicializuje, jakmile je zaznamenán pohyb volantu o $4,5^\circ$. Tento úhel je ekvivalentem k otočení volantu cca o 1,5 cm.

Snímač úhlu natočení využívající optických prvků:

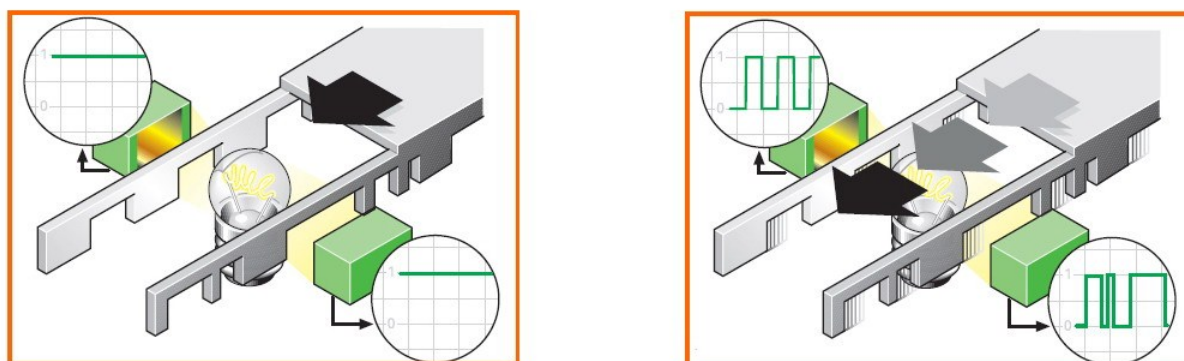
Snímač je konstruován tak, že pro zjištění úhlu natočení volantu je využíván princip světelné závory.



Obr. 16 Princip funkce snímače úhlu natočení využívajícího optických prvků [14]

Základní části můžeme vidět na obrázku 16. vlevo. Zdroj světla (a) je umístěn mezi optickými snímači (c+d), pro přerušování světla slouží kontrastní disk (B). Pro zjišťování plného natočeného volantu je dále použito počítadlo otáčení (e).

Popis funkce je nastíněn na obrázku 16. vpravo. Kontrastní disk se skládá ze dvou prstenců, a to z inkrementálního prstence (1), který je využíván k detekci a zaznamenávání pohybu, a z absolutního prstence (2), který je využíván ke zjištění směru otáčení. Každý prstenec má svůj optický snímač (4+5). Pokud na optický snímač nedopadá žádné světlo, je na jeho výstupu nulová hodnota.

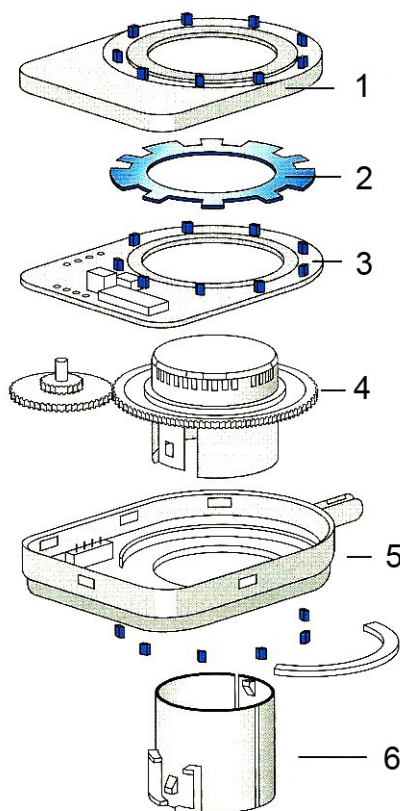


Obr. 17 Princip funkce snímače úhlu natočení využívajícího optických prvků [14]

Při otáčení volantu se začíná otáčet i kontrastní disk. Při jeho otáčení dochází k ozařování a zastiňování obou optických snímačů a tím je na nich vytvářen napěťový signál. Inkrementální část je tvořena prstencem, který má mezery propouštějící světlo v konstantní vzdálenosti od sebe. To zaručuje generování pravidelného výstupního signálu. Naopak absolutní část má tyto mezery umístěny v nepravidelné vzdálenosti od sebe, a proto je výstupní signál nepravidelný. Porovnáním obou těchto signálů může řídicí jednotka vypočítat, jak velký vznikl pohyb volantu a na kterou stranu se točil.

Hallův snímač úhlu natočení volantu LWS1 (Lenkwinkelsenzor)

Tento snímač pracuje na podobném principu jako snímač využívající optických prvků. Ke snímání úhlu a otáček volantu je zde použito 14 „Hallowých závor“. Pro získání digitální informace o úhlu natočení volantu je využíváno devíti ekvidistančně umístěných Halových IO. Každý Hallův prvek měří pole permanentního magnetu umístěného v jeho blízkosti. Pole permanentního magnetu může být silně zeslabováno a zesilováno pomocí kovového kódovacího kotouče, což generuje potřebný digitální signál. Zbývajících pět Hallových snímačů určuje otáčku volantu, tj. otočení o 360° pomocí převodu do pomalu s poměrem 4:1. [15]



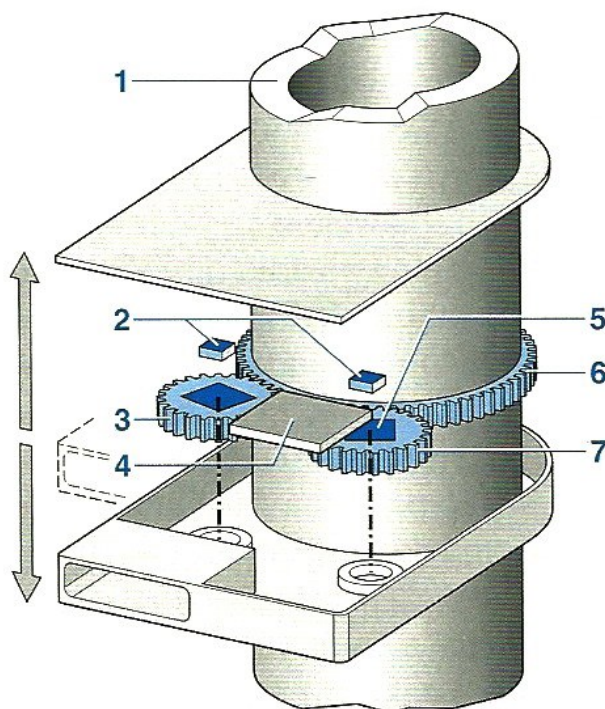
Obr. 18 Rozpadový obrázek digitálního Hallova snímače úhlu natočení volantu LWS1 [15]

Legenda k obrázku 18: (1) víko pouzdra s devíti ekvidistančně (se stejným rozestupem) uspořádanými permanentními magnety, (2) kódovací kotouč (magneticky měkký materiál), (3) deska plošných spojů s devíti Hallovými spínači a mikroprocesorem, (4) převod, (5) dalších pět Hallových magnetických závor, (6) upevňovací objímka pro sloupek řízení

Správnou funkci snímače zjišťuje použitý mikroprocesor, který provádí testy věrohodnosti a rovněž dekóduje informace o úhlu a upravuje je pro sběrnici CAN. Vysoký počet snímacích prvků a nutné ekvidistanční uspořádání, které se musí krýt s Halovými IO, vedlo k nahrazení snímače LWS1 snímačem LWS3. [15]

Magnetorezistivní snímač úhlu natočení volantu LWS3 (Lenkwinkelsenzor)

Snímač LWS3 využívá pro měření úhlu natočení volantu měřicí prvky AMR (anizotropní magnetorezistivní snímače). Odpor měřících AMR prvků se mění se směrem otáčení vnějšího magnetického pole. Magnetické pole je generováno magnety, které jsou zapuštěny ve dvou ozubených kolech. Informace o úhlu natočení se tedy získává měřením úhlu natočení zmíněných dvou ozubených kol, která jsou poháněna ozubeným kolem na hřídeli. Aby ke každé poloze volantu byla přiřazena jednoznačná dvojice úhlů, je nutné, aby se počet zubů těchto dvou ozubených kol lišil o jeden. [15]



Obr. 19 Hallův snímač úhlu natočení volantu LWS3 s prvky AMR (princip) [15]

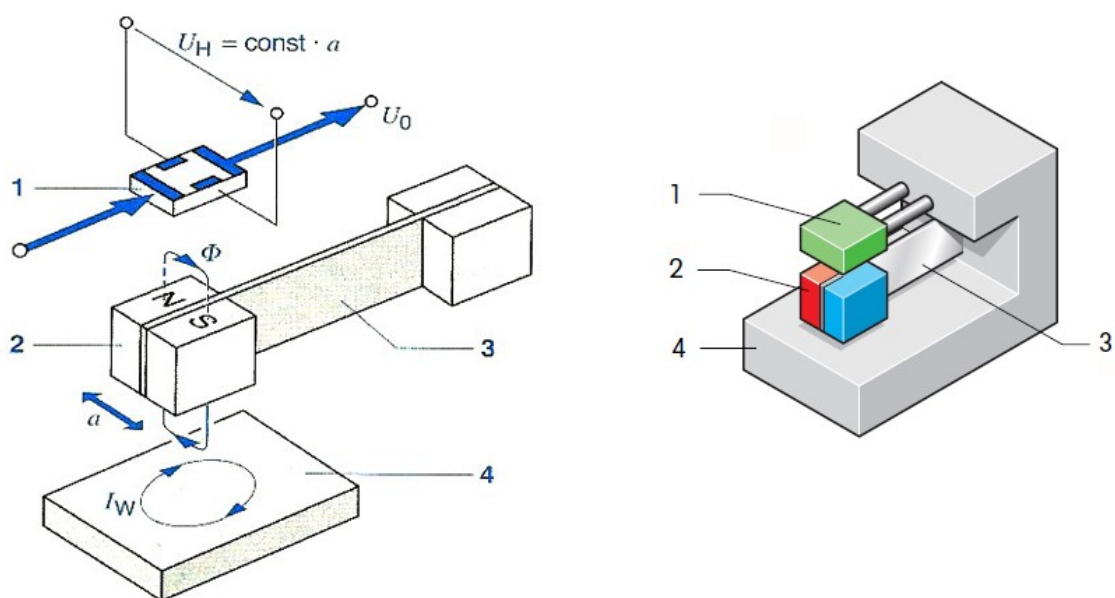
Legenda k obrázku 19: (1) hřídel řízení, (2) měřicí prvky AMR, (3) ozubené kolo s počtem zubů m , (4) vyhodnocovací elektronika, (5) magnety, (6) ozubené kolo s počtem zubů $n > m$, (7) ozubené kolo s počtem zubů $m+1$

Úhel natočení volantu se vypočítává v mikroprocesoru podle zadaného matematického algoritmu, přičemž lze korigovat i nepřesnosti měření obou snímačů AMR. Rovněž jako u snímače LWS1 umí mikroprocesor provádět kontrolu věrohodnosti a tím je zajištěna velmi věrohodná naměřená hodnota, která se posílá po sběrnici CAN do řídicí jednotky. [15]

2) Hallův snímač bočního (příčného) zrychlení G200

Z fyzikálních důvodů by měl být tento snímač umístěn co nejbližší k těžišti vozu. Toto je důvod, proč se tento snímač montuje do vozu v prostoru mezi sedadlem řidiče a spolujezdce. Tento snímač určuje, zda a do jaké míry jsou boční síly příčinou, proč vozidlo ztrácí směrovou stabilitu. Pro měření zrychlení je využito principu působení setrvačných sil na zrychlované těleso. Pokud je toto těleso upevněno elastickou vazbou, tak se při účinku setrvačných sil posunuje. Při posunování tělesa vzniká výchylka, která je měřítkem pro zrychlení. Snímač je možné v závislosti na poloze montáže použít pro měření jak příčného, tak i podélného zrychlení. [14, 15]

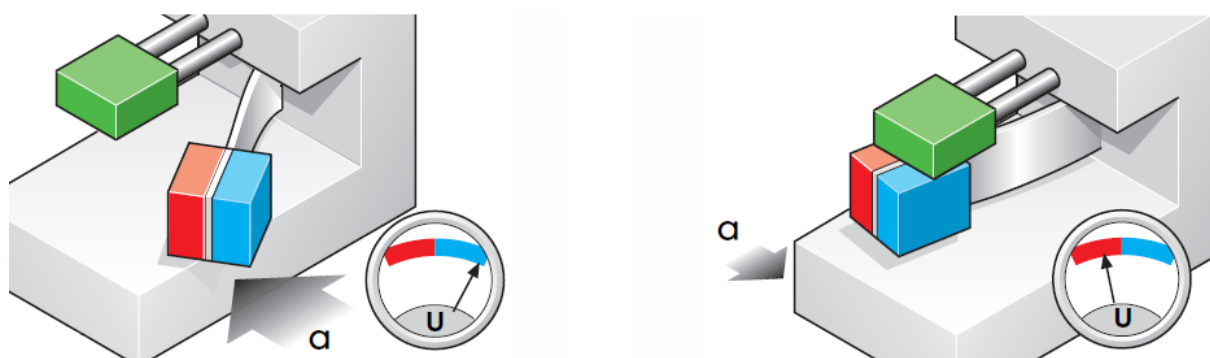
Pokud by vznikla závada na tomto snímači, nebylo by možné vypočítat v řídicí jednotce aktuální stav vozidla a tím by bylo ESP vyřazeno z funkce. Snímač je propojen s řídicí jednotkou třemi kabelovými přípojkami. Vlastní diagnostika snímače umožňuje kontrolu stavu, případně detekuje přerušení okruhu nebo zda došlo ke zkratu na plus nebo na zem (GND). Systém vlastní diagnostiky je tak schopný určit, zda je snímač vadný či nikoli. [15]



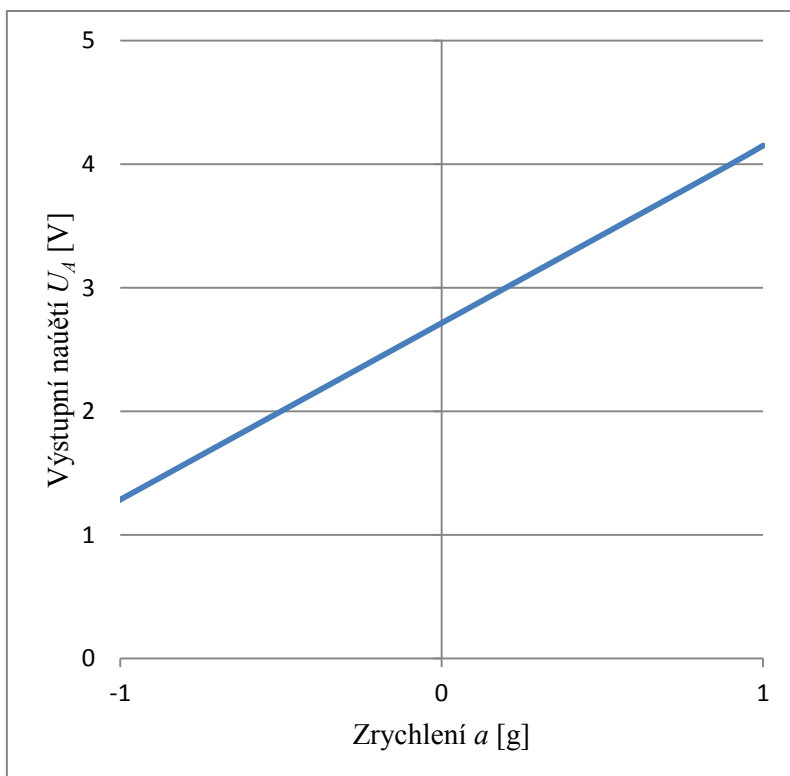
Obr. 20 Hallův snímač zrychlení [14, 15]

Legenda k obrázku 20: Hallův snímač bočního zrychlení, který je tvořen (1) Hallovým snímačem, (2) permanentním magnetem (seizmická hmotnost), (3) pružinou, (4) tlumicí destičkou, se dá elektrodynamicky dobře tlumit (tlumení vířivými proudy – I_W) a tím je možné potlačit nežádoucí vlastní kmitání. Dále nalezneme na obrázku tyto snímané veličiny: boční zrychlení a , magnetický tok Φ , Hallovo napětí U_H a napájecí napětí U_0 . Obrázek vpravo slouží pro představu uspořádání použitých prvků ve snímači.

Princip činnosti: Působí-li na snímač příčně k jeho pružině zrychlení, mění systém pružina-hmota svou klidovou polohu (obrázek 21). Velikost vychýlení udává měřítko pro zrychlení. Vychylování permanentního magnetu (hmoty) způsobuje generování vířivých proudů uvnitř tlumící destičky. Tyto vířivé proudy vytvářejí opačné magnetické pole, než jaké je na permanentním magnetu a tím vzniká elektrodynamické tlumení. Magnetický tok Φ vycházející z pohybujícího se permanentního magnetu vytváří v Hallově snímači Hallovo napětí U_H . Vyhodnocovací elektronikou z něj odvozené výstupní napětí U_A stoupá lineárně se zrychlením. Když na snímač nepůsobí žádné boční zrychlení, výstupní napětí zůstává na konstantní hodnotě. Snímač je navržen pro malou šířku pásma několika Hz. [15]



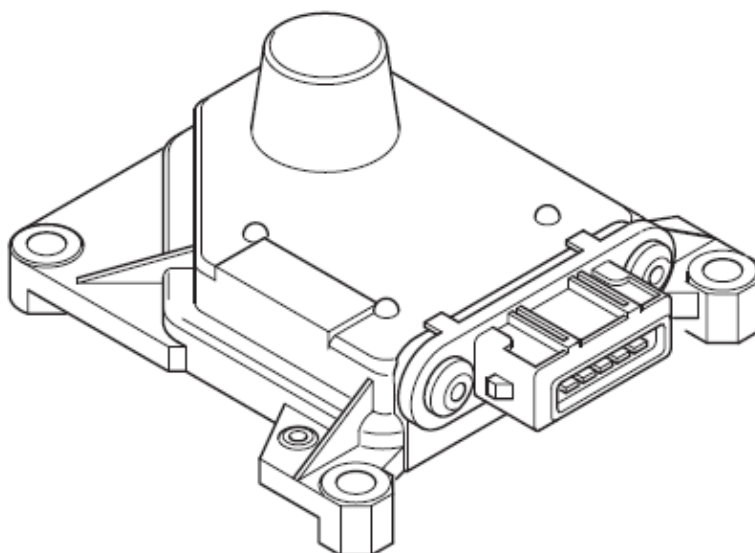
Obr. 21 Hallův snímač zrychlení – princip činnosti [14]



Obr. 22 Hallův snímač zrychlení – charakteristika [15]

3) Snímače rychlosti otáčení G202 (snímač stáčivé/otáčivé rychlosti)

Stejně jako snímač bočního zrychlení je i snímač rychlosti otáčení umístěn co nejbližší k těžišti vozidla a většinou se tyto dva snímače umísťují na společný držák. Tento snímač snímá otáčivý pohyb vozidla kolem jeho svislé osy, např. při běžném zatáčení, ale také při vybočování nebo smyku. Hovoří se o měření míry rotačního momentu setrvačnosti nebo o měření rotační rychlosti. Přístroje k měření stáčivé/otáčivé rychlosti se nazývají gyrometry. [15]



Obr. 23 Piezoelektrický snímač rychlosti otáčení (kmitající „kalíšky“) [14]

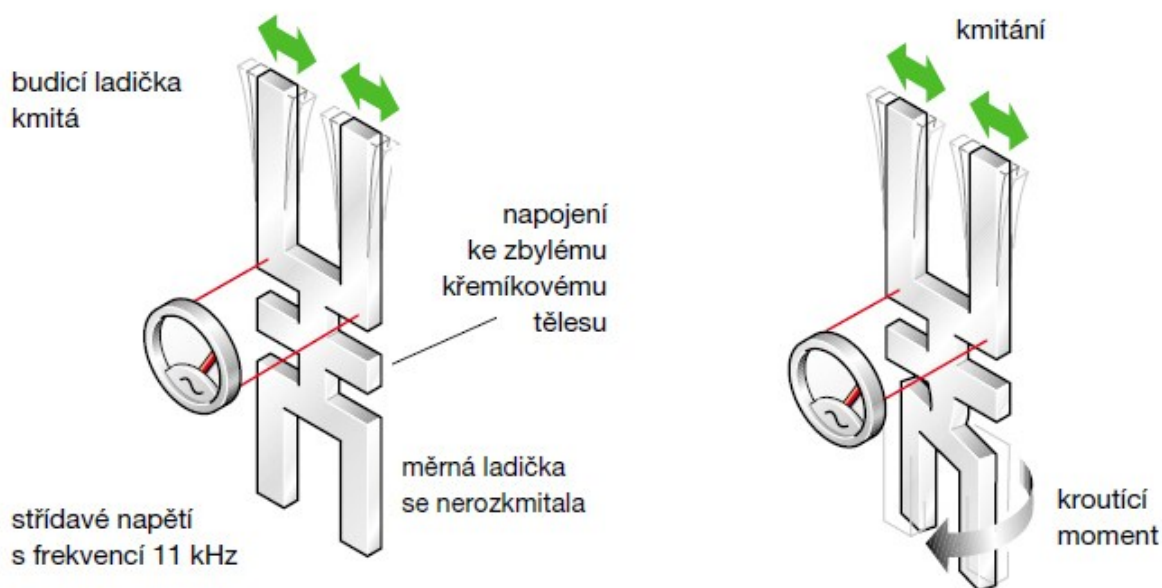
Následkem výpadku tohoto snímače by nebyla možnost měřit rotační rychlost vozidla a tím ani řídicí jednotka ESP by nemohla rozpoznávat, zda u vozidla nevzniká tendence dostat se do smyku. Proto je systém ESP vyřazen z provozu a na přístrojové desce se zobrazí upozornění na závadu. [14]

Snímač rychlosti otáčení je schopen provádět vlastní diagnostiku, která zjišťuje, zda není přerušené vedení nebo zda vedení nemá zkrat na plus či na kostru. Systém je také schopen rozpoznat, zda signál ze snímače rychlosti otáčení dává smysl (je správný). Snímač je propojen přímo s řídicí jednotkou ESP pomocí tří kabelových přípojek. [14]

Existuje několik různých provedení tohoto snímače. Je to např. piezoelektrický ladičkový snímač, piezoelektrický snímač otáčení (kmitající „kalíšky“), mikromechanický snímač rychlosti otáčení. V dalším textu bude podrobněji popsán piezoelektrický ladičkový snímač a mikromechanický snímač rychlosti otáčení.

Piezoelektrický ladičkový snímač rychlosti otáčení

Základní součástí tohoto snímače je systém s dvojitou ladičkou z monokrystalického křemíku, který je umístěn na malém elektrickém dílu na destičce snímače. Dvojitá ladička je tvořena budicí ladičkou a měrnou ladičkou. Přivedením napětí o střídavém průběhu se ladička rozkmitá. Dvojitá ladička je konstruována tak, aby se budicí ladička rozkmitala při frekvenci 11 kHz (přesně) a měrná ladička při frekvenci 11,33 kHz. Je-li na dvojitou ladičku přivedeno napětí o frekvenci přesně 11 kHz, rozkmitá se budicí ladička, zatímco měrná ladička nikoliv. [16]



Obr. 23 Piezoelektrický ladičkový snímač rychlosti otáčení [16]

Kmitající ladička reaguje na působení síly pomaleji, než hmota, která kmitá. Zatímco se měrná ladička a zbytek snímače spolu s vozidlem pohybuje vlivem působení otáčivého zrychlení, budicí ladička za tímto pohybem zaostává. Tím se dvojitá ladička zkrouť do tvaru šroubovice. Toto zkroucení způsobí změnu v rozložení nábojů v ladičce, což je měřeno elektrodami a vyhodnocováno elektronickými komponenty snímače rotační rychlosti a v podobě signálu odesíláno do řídicí jednotky ABS s ASR a ESP. [16]

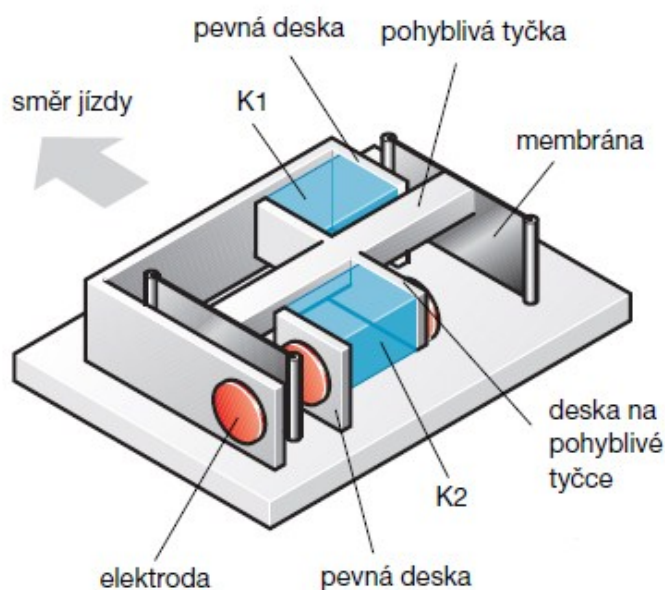
4) Kombinovaný snímač rychlosti otáčení a bočního (příčného) zrychlení

Z požadavku umístění snímače rychlosti otáčení a bočního zrychlení co nejbližší k těžišti vozidla a z požadavku na nižší cenu a větší spolehlivost byly snímače rychlosti otáčení a snímače bočního zrychlení integrovány do jednoho pouzdra. Toto znamenalo rovněž menší prostorovou náročnost ve vozidle. Vzájemná poloha obou snímačů je pevně dána a nelze ji měnit. Tyto snímače jsou osazeny na společné desce tištěných spojů a pracují na mikromechanickém principu. Ve vozidle Škoda Fabia se tento kombinovaný snímač nachází pod levou přední sedačkou.

Kombinovaný snímač je propojen s řídicí jednotkou ESP přímo pomocí šesti kabelových přípojek.

Mikromechanický snímač bočního (příčného) zrychlení G200

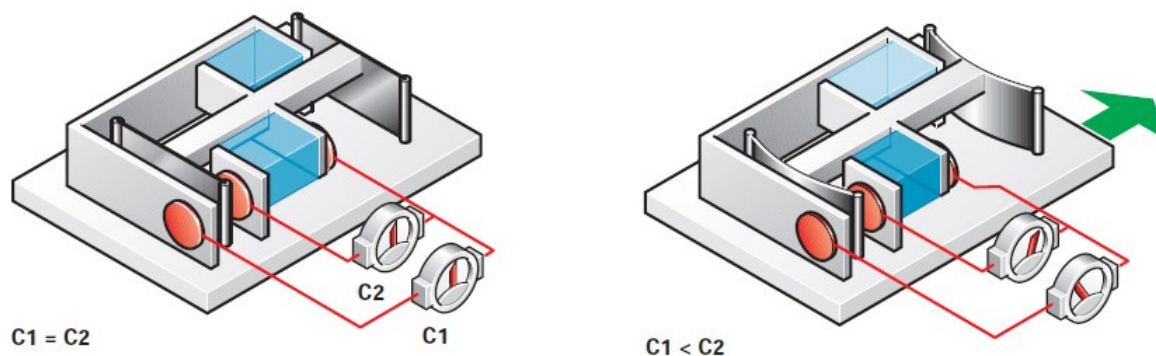
Snímač je drobný díl, který je umístěn na desce tištěných spojů kombinovaného snímače. Tyto levné snímače s kompaktní konstrukcí nahrazují dříve obvyklé jemnomechanické snímače. Zjednodušeně si lze konstrukci mikromechanického snímače bočního zrychlení představit jako dva sériově zapojené kondenzátory K1 a K2. [16]



Obr. 24 Mikromechanický snímač bočního zrychlení [16]

Kondenzátory jsou tvořeny dvěma pevnými deskami a jednou deskou, která je pevně spojena s pohyblivou tyčkou. Tak, jak se mění poloha tyčky, mění se i vzdálenost mezi deskami kondenzátorů. Na elektrodách se pak snímají kapacity obou kondenzátorů a vzájemně se porovnávají. [16]

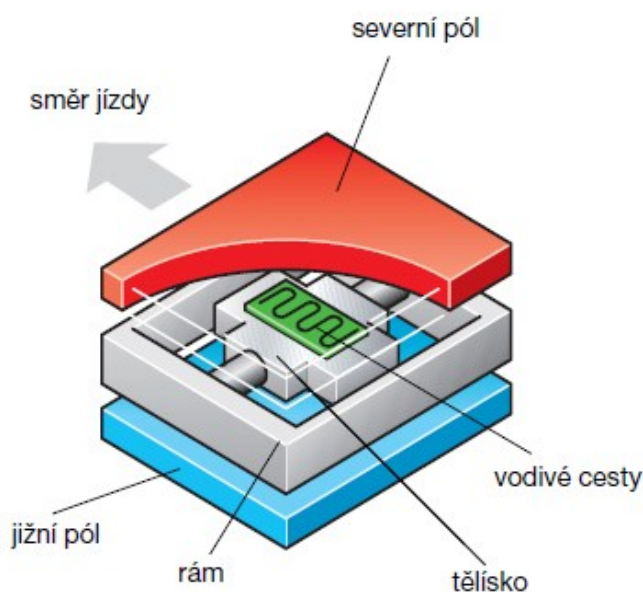
Popis činnosti je následující: Pokud na systém popisovaný v textu výše nepůsobí žádné boční zrychlení, jsou kapacity obou kondenzátorů stejné $C1 = C2$. Jakmile začne působit boční zrychlení, pohyblivá tyčka se vlivem setrvačné hmoty vychýlí do opačného směru, než působí zrychlení. Vzdálenosti mezi deskami kondenzátorů se změní, čímž se změní i jejich kapacity. V případě uvedeném na obrázku 24 se vzdálenost desek kondenzátorů K1 zvětší, což znamená, že se jeho kapacita $C1$ zmenší. Vzdálenost desek kondenzátoru K2 se zmenší. [16]



Obr. 24 Mikromechanický snímač bočního zrychlení – princip činnosti [16]

Mikromechanický snímač rychlosti otáčení (rotační rychlosti) G202

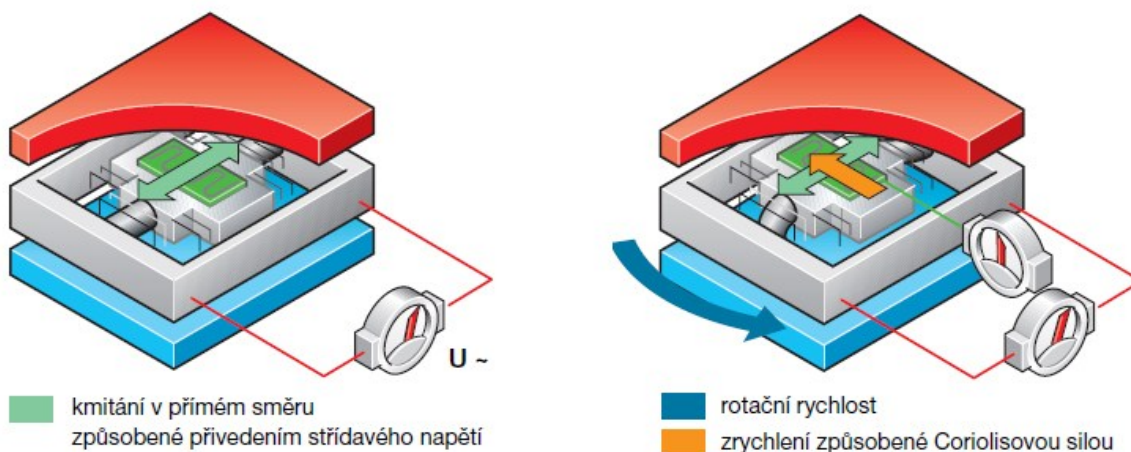
Tento snímač je umístěn na stejném tištěném spoji, jako je snímač bočního zrychlení G200. Pro popis konstrukce a principu činnosti bylo také použito zjednodušené zobrazení. V permanentním magnetickém poli (mezi severním a jižním pólem magnetu) je na rámu zavěšeno tělísko tak, aby mohlo vykonávat kmitavé pohyby. Na tělísku se nacházejí vodivé cesty, které představují vlastní vodič. Na skutečném snímači jsou z důvodu vyšší spolehlivosti nanесeny vodivé cesty dvojité.



Obr. 25 Mikromechanický snímač rychlosti otáčení [16]

Princip činnosti mikromechanického snímače rychlosti otáčení je následující: Po přivedení střídavého napájecího napětí začne tělísko v magnetickém poli kmitat. Jestliže na tento popisovaný systém začne zvenčí působit rotační rychlost, bude se tělísko při kmitání odchylovat, neboť na něj působí zrychlení vyvolané Coriolisovou silou. Coriolisova síla je setrvačná síla působící na tělesa, která se pohybují v rotující neinerciální vztažné soustavě tak, že se mění jejich vzdálenost od osy otáčení. [16]

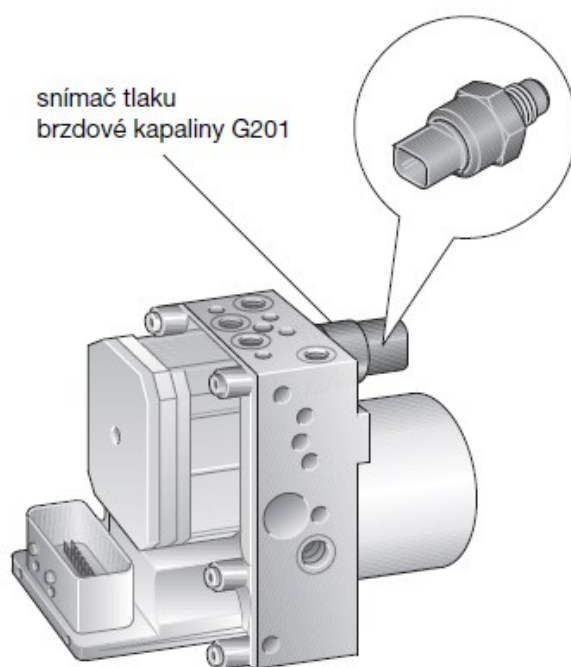
Vzhledem k tomu, že tělísko kmitá v magnetickém poli, dochází na vodivých cestách k elektrickým změnám. Elektrické změny jsou mírou velikosti směru a zrychlení vyvolaného Coriolisovou silou. Ze zjištěných hodnot se vypočítává velikost rotační rychlosti. [16]



Obr. 25 Mikromechanický snímač rychlosti otáčení – princip činnosti [16]

5) Snímač tlaku brzdové kapaliny G201

Tento snímač se u systému ESP využívá pro zjištění tlaku brzdové kapaliny. Tlak je generován řidičem, sešlápnutím brzdového pedálu. Snímač tedy slouží pro zjištění velikosti požadovaného brzdného účinku od řidiče. Pokud řídící jednotka ESP zná informaci o velikosti brzdného tlaku v systému, může na základě této informace vypočítávat brzdnou sílu kol, a tím i podélné síly, které působí na vozidlo. Je-li nutný zásah ESP, použije řídící jednotka hodnotu brzdného tlaku i k výpočtu stranových vodících sil. Tento snímač je většinou našroubován v hydraulické jednotce a je jej možné vyměnit, vyskytne-li se na snímači závada. [16]



Obr. 26 Umístění snímače tlaku brzdné kapaliny [16]

Při výpadku nebo nefunkčnosti tohoto snímače nebude znát řídící jednotka informaci o aktuálním tlaku v brzdovém systému a tak systém nebude moci správně vyhodnotit stranové vodící síly. Funkce ESP bude vyřazena při současném upozornění řidiče na závadu. Vlastní diagnostikou lze zjistit přerušení vedení, zkrat na plus nebo zkrat na kostru a vadný snímač. Snímač je propojen s řídící jednotkou ESP pomocí třech kabelových přípojek.[16]

Základním konstrukčním kamenem snímače tlaku je piezoelektrický prvek, na který působí tlak brzdové kapaliny. Elektronická část snímače pak slouží k vyhodnocování změny elektrického náboje. Působením tlaku brzdové kapaliny na piezoelektrický prvek na něm dojde ke změně rozdělení elektrického náboje. Jestliže piezoelektrický prvek není pod vlivem tlaku, je elektrický náboj rozdělen rovnoměrně. Působením tlaku dojde k přesunu nábojů a vznikne tak elektrické napětí. Čím větší je působící tlak, tím více budou náboje uspořádány, a tím větší napětí vznikne. Vzniklé napětí je elektronickou částí snímače zesilováno a jako signál vysíláno do řídící jednotky ESP. Velikost napětí je přímo úměrná tlaku brzdové kapaliny. [16]

2.3.3 Komponenty ESP – řídicí a hydraulická jednotka

1) Řídicí jednotka ESP

Řídicí jednotka ABS je popsána v kapitole 2.1.2. Protože systém ESP je pouze doplněním řídicí jednotky ABS o programovou funkci ESP, liší se její konstrukce pouze minimálně a základní části byly tedy již popsány. Jistým odlišením je pouze doplnění o další vstupní signály, zde je uveden jejich kompletní výčet:

- poloha spínací skřínky zapalování,
- úhel natočení volantu,
- otáčky každého kola,
- boční zrychlení,
- stáčivá rychlost,
- brzdový tlak,
- poloha brzdového pedálu a parkovací brzdy.

Řídicí jednotka ABS/ASR/ESP přejímá elektrické a elektronické úlohy a regulační funkce systému, jako [17]:

- napájení snímačů proudem,
- zachycování provozních stavů,
- příprava dat (vstupní a výstupní ovladač, A/D převod),
- zpracování dat (výpočet akčních veličin pomocí uložených charakteristik a datových polí),
- výstup dat (k zesílení a výstupu signálů na akční členy),
- sledování (rozhraní a komponenty),
- propojení CAN s jinými řídicími jednotkami.

V současné době, díky neustálému vývoji mikrohybridních řídicích jednotek, je řídicí jednotka ABS/ASR/ESP konstruována pro společnou montáž s hydraulickou jednotkou (tvoří jeden celek). [17]

2) Hydraulická jednotka

Pro správnou funkci ESP je potřeba správné spolupráce s hydraulickou jednotkou. Funkce a princip hydraulické jednotky pro systém ABS se nijak neliší ani pro systém ESP a byly popsány v kapitole 2.1.2 a 2.1.3, a proto zde již nebudou znovu uváděny.

2.3.4 Princip regulace jízdní dynamiky ESP

Regulace jízdní dynamiky kontroluje a reguluje do přijatelných mezí následující veličiny:

- podélnou rychlost (systémy ABS, ASR),
- příčnou (boční) rychlost,
- stáčivou rychlost (rychlost otáčení) vozidla kolem svislé osy.

Vozidlo je regulovaná soustava, která obsahuje akční členy pro zásah do brzd a motoru, a která provádí měření pohybových veličin. Aby systém správně fungoval, musí určit rozdíl mezi požadovaným chováním (tj. požadavek řidiče) a skutečným chováním vozidla. Rozdíl mezi požadovaným a skutečným chováním vozidla je regulační odchylka. Tuto regulační odchylku se systém pomocí regulátoru s výpočtem akčních veličin snaží udržet co nejmenší.

Systém regulace jízdní dynamiky ESP daleko převyšuje ve svých možnostech systémy ABS a ASR. Tento systém umožňuje aktivní brždění všech kol s vysokou dynamikou a dále pomocí systému managementu motoru s rozhraním CAN může ovlivňovat točivý moment motoru. Regulační systémy ve vozidle se proto dělí do dvou skupin [17]:

- nadřazené regulátory,
- podřazené regulátory.

Do nadřazených regulátorů řadíme regulaci jízdní dynamiky ESP. Tento regulátor má přednost a zadává požadované hodnoty formou požadovaného skluzu pneumatiky pro podřazené regulátory (ABS, ASR, MSR). K určení požadovaného chování obsahuje regulátor jízdní dynamiky „pozorovací člen“. Tento člen zjišťuje úhel směrové úchylky vozidla (odchylka směru jízdy od podélné osy vozidla). Pro správnou funkci se registrují následující požadavky řidiče [17]:

- poloha plynového pedálu (systém řízení motoru),
- poloha brzdového pedálu a snímač neregulovaného brzdného tlaku,
- snímač úhlu natočení volantu.

Požadavek řidiče je definován jako požadovaná hodnota. Pozorovací člen dále zjišťuje skutečné chování vozu ze signálů následujících snímačů:

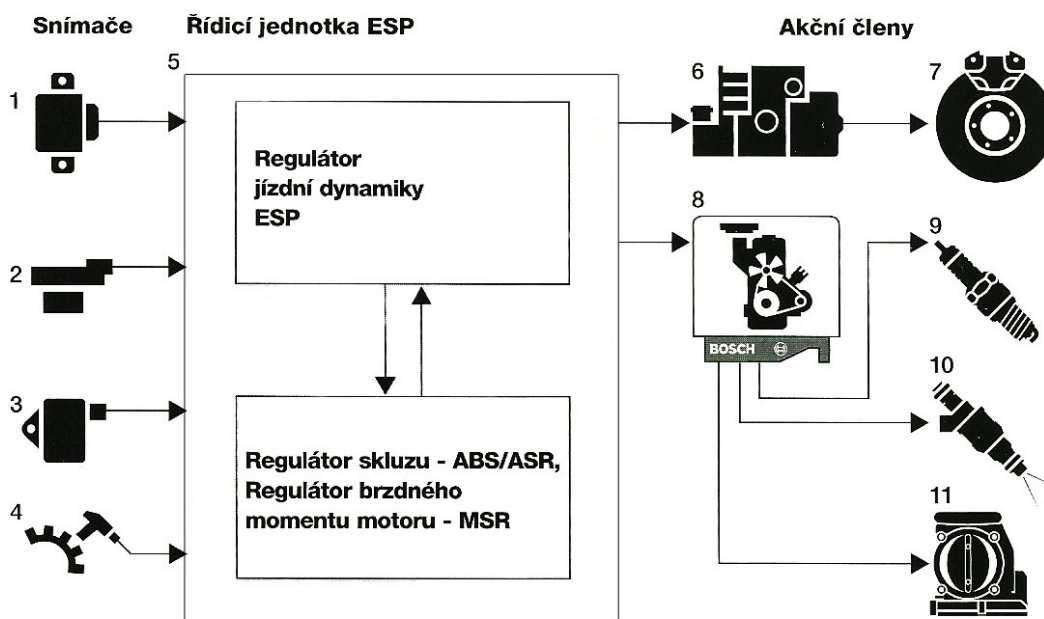
- otáček kol,
- bočního zrychlení,
- brzdných tlaků,
- stáčivé rychlosti.

Skutečné chování vozu je definováno jako skutečná hodnota.

Způsob činnosti: Regulační systém jízdní dynamiky reguluje stáčivou rychlost a úhel směrové odchylky těžiště a vypočítává stáčivý moment, který je zapotřebí pro přizpůsobení skutečných veličin na požadované veličiny. Hodnoty stáčivé rychlosti a úhel směrové odchylky se určují z veličin, které řidič zadává nebo které mohou být řidičem ovlivněny. Jedná se o úhel natočení volantu, odhadnutou rychlost vozidla a o součinitel přilnavosti, jenž se určuje z odhadované hodnoty podélného zrychlení a měřené hodnoty bočního zrychlení.

Aby regulační program ESP mohl rozhodnout o zásahu, musí mít k dispozici paměť, v níž jsou uložena data o maximálním možném příčném (bočním) zrychlení a jiných dynamicky důležitých veličinách konkrétního vozidla. Tato data se pro každé vozidlo získávají zkouškou „ustálená jízda v kruhu“. Přitom zjištěná souvislost mezi úhlem natočení volantu a stáčivou rychlostí tvoří základ pro požadovaný pohyb pro jízdu konstantní rychlostí i pro brždění a zrychlení. Tato souvislost se ukládá do programu jako jednostopý model. [17]

V případě příliš malé přilnavosti pneumatiky vozidla při velkém příčném (bočním) zrychlení by mohlo dojít ke ztrátě směrové stability vozidla. Požadovaná hodnota součinitele přilnavosti je vyhodnocena příliš vysoká. Musí zasáhnout regulace úhlu směrové odchylky vozidla a zmenšit boční zrychlení na hodnotu, která odpovídá fyzikálně sjízděnému průběhu stopy. Např. když se vozidlo chová při projíždění pravotočivé zatáčky přetáčivě a překročí se stáčivá rychlost, potom vytváří regulace jízdní dynamiky na levém předním kole požadovaný brzdný skluz. Tím vzniká doleva stáčející se moment, který udrží vozidlo v požadované jízdní stopě. [17]



Obr. 27 Regulační soustava jízdní dynamiky ve vozidle [17]

Legenda k obrázku 27: (1) snímač stáčivé rychlosti se snímačem bočního zrychlení, (2) snímač úhlu natočení volantu, (3) snímač neregulovaného brzdného tlaku, (4) snímače otáček, (5) řídicí jednotka ESP, (6) hydraulická jednotka, (7) brzdy kol, (8) řídicí jednotka managementu motoru, (9) úhel zážehu, (10) vstřikování paliva, (11) škrticí klapka (EGAS)

Funkce regulátoru ESP při režimu ABS/ASR: Pro využití co největší přilnavosti mezi pneumatikou a vozovkou se zhodnocují důsledně všechny měřené a odhadované veličiny také od podřízených regulátorů.

Při sklonu k blokování kol (ABS) předává regulátor jízdní dynamiky na podřízený regulátor brzdného skluzu informaci o příčné (boční) rychlosti vozidla, stačivé rychlosti, úhlu natočení volantu a o rychlosti kol k nastavení požadovaného skluzu ABS.

Při sklonu k prokluzování kol (ASR) předává regulátor jízdní dynamiky na podřízený regulátor hnacího skluzu hodnoty o středním absolutním skluzu, tolerančním pásmu a brzdném uzavíracím momentu k nastavení potřebného stáčivého momentu.

2.4 Další vývoj a trendy v oblasti asistenčních systémů

Mezi základní systémy pro regulaci a řízení podvozku patří ABS, ASR a ESP, které byly podrobně probrány v této bakalářské práci. Existuje ovšem značné množství dalších doplňkových funkcí, které slouží jako rozšíření již existujících základních systémů.

Asistenční systémy můžeme rozdělit na aktivní, které automaticky zasahují do ovládání vozu, a pasivní, které slouží pouze jako informativní. V této bakalářské práci byly podrobně popisovány pouze aktivní asistenční systémy. Dalším dělením si tyto systémy můžeme rozdělit na ty, které zajišťují bezpečnost, a na ty, které zajišťují pohodlí posádky vozu.

Adaptivní tempomat ACC (Adaptive Cruise Control):

V poslední době vznikají systémy, které zajišťují bezpečnost a zároveň i pohodlí. Mezi tyto systémy patří například adaptivní tempomat, což je v podstatě radar, který měří rozestupy mezi vozidly, úhly, v jakém se k danému autu ostatní vozy přibližují, a relativní rychlosti okolních aut, a podle toho reguluje, jaký odstup má od nich mít daný vůz a jakou rychlostí má jet, aby nedošlo ke kritické situaci či dopravní nehodě. Radar vysílá na okolní vozy či předměty svazek mikrovln s frekvencí 77 Gigahertz (popřípadě 24 GHz), které se odrážejí od metalických a dielektrických povrchů. Toto měření se stále opakuje. Z délky času mezi odesláním, odražením a návratem vlny se pak stanoví optimální odstup od okolních předmětů a relativní rychlost. Dalším úkolem, který ACC musí plnit, je tzv. „Stop-and-Go“, který se používá v situacích, kdy se řidič s vozem ocitne v dopravní zácpě a musí dlouhé minuty stát anebo se pohybuje vpřed jen o malé kousky a v dlouhých intervalech. V tomto případě se používá čidlo s frekvencí 24 Gigahertz, vhodné pro sledování okolí bezprostředně kolem vozu. [18]

Další funkcí ACC je "Lane Departure Warning", jenž má řidiče varovat, aby (zřejmě neočekávaně) neopouštěl na víceproudové komunikaci pruh, ve kterém jede. Zde příslušná kamera sleduje hlavně úsek před vozem, a sděluje řidiči mj. šířku jízdního pruhu a horizontální zakřivení povrchu vozovky. Součástí mechanismu této funkce je i "Time-to-Line Crossing", tedy údaj o tom, kolik času má řidič k tomu, aby bez problémů přešel z jednoho pruhu do jiného. Pokud by nebyla vhodná situace a řidič se chtěl přesto přemístit do jiného pruhu, dostane varovný signál. Podobný systém byl nasazen už v roce 2004 u vozu Citroen C5. Chce-li řidič odbočit, asistenční systém zapnutím směrovky aktivuje čidlo, které "ohmatá" prostor na straně, na kterou se má odbočit, v úhlu 90 stupňů. Identifikuje-li čidlo v tomto prostoru vozidlo nebo třeba chodce, dá varovný signál. [18]

Elektronická uzávěrka diferenciálu EDS (Elektronische Differenzial Sperre)

Elektronická závěra diferenciálu umožňuje stabilní a pohodlné rozjíždění na různě kvalitním povrchu vozovky. V momentě, kdy se některé z kol začne protáčet, EDS je cíleně přibrzdí a zajistí tak, že hnací síla se převede na kolo, které lépe zabírá. EDS snižuje opotřebení pneumatik a pracuje až do cca 40 km/h (Quattro: Až do 80 km/h). EDS je součástí elektronického stabilizačního systému ESP a protipokluzového zařízení ASR. [19]

EDS samočinně přibrzdí protáčející se kolo hnací nápravy s cílem vyrovnat silový poměr na obou kolech. Řídicí jednotka pomocí snímačů systému ABS kontinuálně sleduje a vyhodnocuje otáčení hnacích kol. Pokud rozdíl hodnot odpovídá prokluzu kol, vyšle signál a systém ABS/EDS protáčející

se kolo přibrzdí. Tím vyrovná momenty na obou kolech a výsledný účinek je podobný jako u mechanického uzávěru diferenciálu. [19]

Rozšíření EDS o systém XDS

Automobilky Volkswagen, Seat a Škoda dávají do svých sportovnějších modelů elektronický systém XDS. V podstatě se jedná o elektronickou uzávěrku diferenciálu, která zlepšuje trakci automobilu při průjezdu zatáčkou. [20]

XDS je tedy nadstavba EDS a je právě určena pro rychlou jízdu. Činnost XDS se aktivuje během rychlého průjezdu automobilu zatáčkou. V takovém případě je totiž při naklánění automobilu vlivem odstředivé síly vnitřní hnací kolo odlehčováno a dochází ke ztrátě trakce. V takové situaci snímače zjistí rychlost vozu, odstředivé zrychlení a úhel natočení volantu a pak vyhodnotí potřebný brzdový tlak na vnitřní odlehčené kolo. Tím se dostane na vnější zatížená kola větší hnací síla. Jedná se o přesně stejně velkou sílu, jakou je přibrždováno vnitřní kolo. Jízdní vlastnosti jsou pak podobné jako u vozů s klasickou uzávěrou diferenciálu - je potlačena nedotáčivost, není třeba tolik natáčet volant, auto lépe drží stopu a také je možno stejnou zatáčku projet rychleji než bez tohoto systému. [21]

Prediktivní bezpečnostní systémy PSS (Predictive Safety Systems)

První vývojový stupeň systému Predictive Safety Systems je Predictive Brake Assist (PBA). Pokud radarové čidlo ACC zjistí kritickou dopravní situaci, přiloží bezpečnostní systém brzdové destičky nepatrně na brzdové kotouče a asistenční systém brzd se připraví na případné nouzové zabrzdění. Pokud řidič sešlápne brzdu, lze tak získat důležité zlomky vteřin až do celkového účinku zpomalení. Tento systém byl poprvé sériově použit v roce 2005 v Audi A6. Druhý vývojový stupeň rozvíjí rozsah funkcí PBA. Systém Predictive Collision Warning (PCW) včas upozorní řidiče na kritickou situaci tak, aby mohl reagovat rychleji a v mnoha případech zabránil nehodě. Systém například krátce a citelně "cukne" brzdou. Systém PCW může dodatečně aktivovat reverzibilní ochranné systémy jako elektrické napínače bezpečnostního pásu cestujících. Tento systém byl do sériové výroby uveden v roce 2006. [22]

Systém Predictive Emergency Brake (PEB), tvoří třetí vývojový stupeň systému Predictive Safety System. Kromě dálkového radaru využívá i videosenzory. PEB může k funkcím systémů PBA a PCW v nouzovém případě dodatečně vyvolat automatické nouzové brždění. Tato funkce se však aktivuje teprve tehdy, pokud řidič nereagoval nebo reagoval pouze nedostatečně na předchozí varování a srážce již nelze zabránit. Automatické nouzové brždění způsobuje nezávisle na reakci řidiče maximální zpomalení vozidla. Tím je možné výrazně snížit energii nárazu tak, aby mohla být ve spojení s moderními zadržovacími systémy významně snížena závažnost úrazů. Účastníci nehody tak mohou být lépe ochráněni. Prediktivní bezpečnostní systémy mohou přispívat ke snížení počtu obětí dopravních nehod až o 35 %. Škody na majetku by se mohly snížit až o 45 %. [22]

Kombinace aktivní a pasivní bezpečnosti CAPS (Combined Active and Passive Safety)

Aby bylo možné dosáhnout plného účinku bezpečnostních systémů, vyžadují budoucí asistenční funkce úzké propojení všech aktivních a pasivních bezpečnostních systémů s prediktivními asistenčními systémy. Proto firma Bosch zahájila program CAPS. Již na základě spojení ESP, brzdového asistenčního systému a ovládání airbagu lze zajistit funkce, které podstatně zvyšují bezpečnost silničního provozu. V mnoha případech o sobě dávají kritické situace vedoucí k nehodě vědět silnou přetáčivostí, nedotáčivostí nebo počátkem nouzového brždění. ESP může identifikovat takové kritické stavy jízdní dynamiky a aktivovat pasivní bezpečnostní systémy. Napínají se tak

například bezpečnostní pásy, aby řidič a cestující zaujali v sedadle optimální polohu a minimalizovalo se riziko zranění již v době, kdy se schyluje k možné nehodě. Také čidla sledující okolí dnešních asistenčních systémů řidiče mohou přispívat k ochraně cestujících. Mohou propočítat okamžik a místo srážky a také relativní rychlost vzhledem k druhému účastníku nehody. Pomocí těchto informací se mohou ochranné systémy nastavit včas a přesně podle vznikající situace. Společně s čidly, která detekují okolí vozidla, tak CAPS zpřístupňuje další potenciál pro zamezení nehodám a ke snížení závažnosti zranění. Pomocí systému CAPS tak lze v budoucnu nejen zabránit čelním srážkám nebo zmírnit jejich závažnost. Řidič bude také v nebezpečných situacích, které vedou k potenciální boční, zadní nebo několikeré srážce nebo k překlopení vozidla, aktivně podporován a chráněn. Svými asistenčními a výstražnými funkcemi sníží asistenční systémy řidiče všeobecné riziko nehody. Čidla uvedených systému budou kromě toho použita ke zvýšení pasivní bezpečnosti a ochrany chodců. [22]

3. OVĚŘOVÁNÍ VLASTNOSTÍ ASISTENČNÍCH SYSTÉMŮ

3.1 Měření na vozidle Škoda Octavia 1.6 1U

Jelikož vůz Škoda Octavia 1.6 obsahoval ve své výbavě pouze systém ABS, bylo možné pomocí paralelní diagnostiky provést pouze měření výstupního signálu indukčního snímače otáček.

Případné závady systému ABS jsou signalizovány:

- rozsvícením kontrolky ABS



- rozsvícením červené kontrolky ruční brzdy/ hladiny brzdové kapaliny



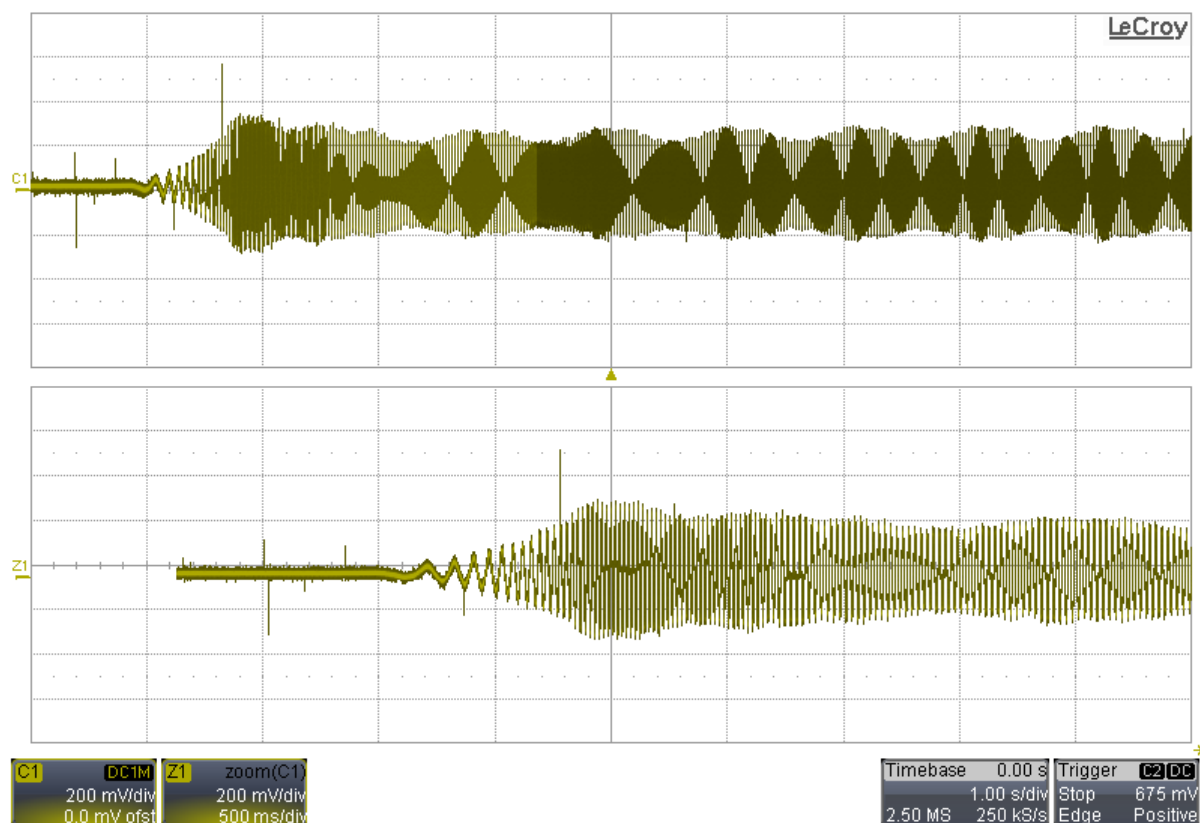
Při zapnutí zapalování se obě kontrolky rozsvítí a asi po 3s kontrolky zhasnou. Tím je signalizována správná činnost systému. Při výpadku jednoho snímače otáček vlivem poškození nebo zkratu se systém ABS automaticky odpojí. Běžný brzdový systém zůstává plně funkční. Řidič je o výpadku systému informován rozsvícením kontrolky ABS. Pokud dojde k výpadku dvou a více snímačů otáček, je o tom řidič informován současným rozsvícením červené kontrolky ruční brzdy/ hladiny brzdové kapaliny a rozsvícením kontrolky ABS. Pokud svítí pouze kontrolka ruční brzdy/ hladiny brzdové kapaliny, zůstává systém ABS funkční. Toto signalizuje nízkou hladinu brzdové kapaliny.

Každé rozsvícení kontrolky při závadě se ukládá do paměti závad řídicí jednotky ABS.

Kontrola indukčního snímače otáček:

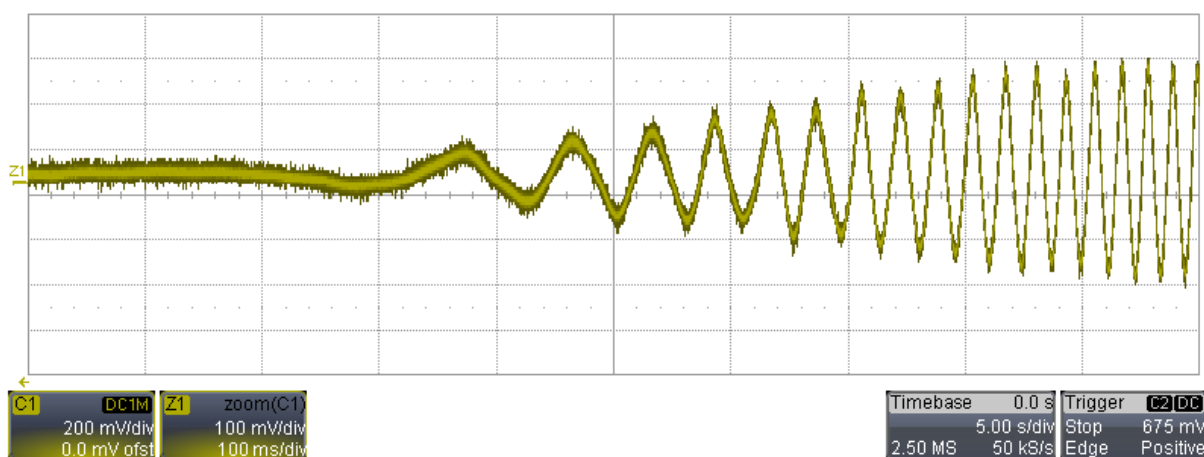
Pro měření byl vybrán přední levý snímač otáček kola. Jelikož se jedná o indukční snímač, byla provedena kontrola vnitřního odporu pro zjištění, zda snímač není poškozen. Dle servisní literatury je požadovaná hodnota vnitřního odporu indukčního snímače pro daný vůz stanovena na 1 až 1,3k Ω (měříme cívku snímače). Naměřený vnitřní odpor snímače byl 1k Ω . To znamená, že snímač není poškozen. Je doporučeno provádět měření přímo na snímači otáček pro případ, že by byla poškozena kabeláž k tomuto snímači.

Pokud by byla hodnota odporu příliš vysoká, jedná se o vadný snímač a je třeba ho neprodleně vyměnit. Tato situace by byla signalizována na přístrojové desce vozu.



Obr. 28 Výstupní signál indukčního snímače otáček

Na obrázku 28 je vidět výstupní signál indukčního snímače otáček. Snímač je pasivní a tudíž nepotřebuje napájení a není tedy vidět žádný skok výstupního signálu při zapnutí zapalování. Jakmile se měřené kolo začalo pohybovat, snímač generoval harmonický signál, jehož amplituda a frekvence rostla s rychlostí otáčení tohoto kola.



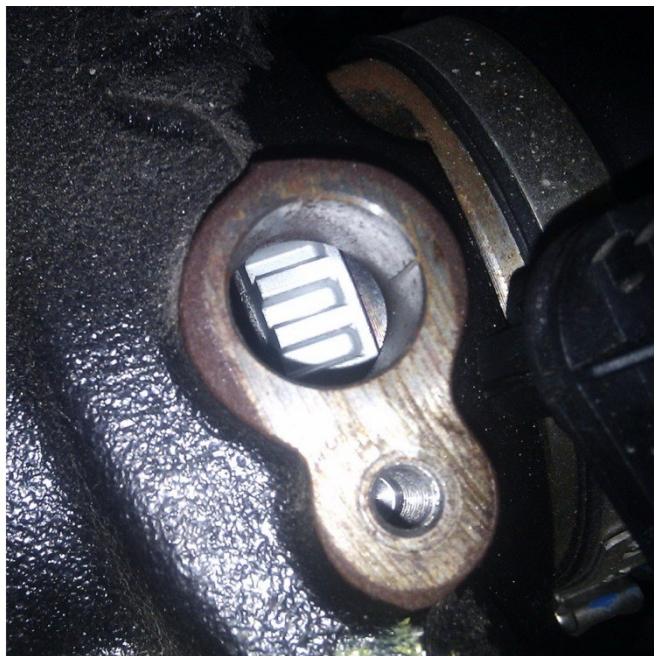
Obr. 29 Výstupní signál indukčního snímače otáček - zvětšený

Pozvolné zvětšování amplitudy a frekvence výstupního signálu v závislosti na narůstajícím počtu otáček kola je zvětšeně zobrazeno na obrázku 29.

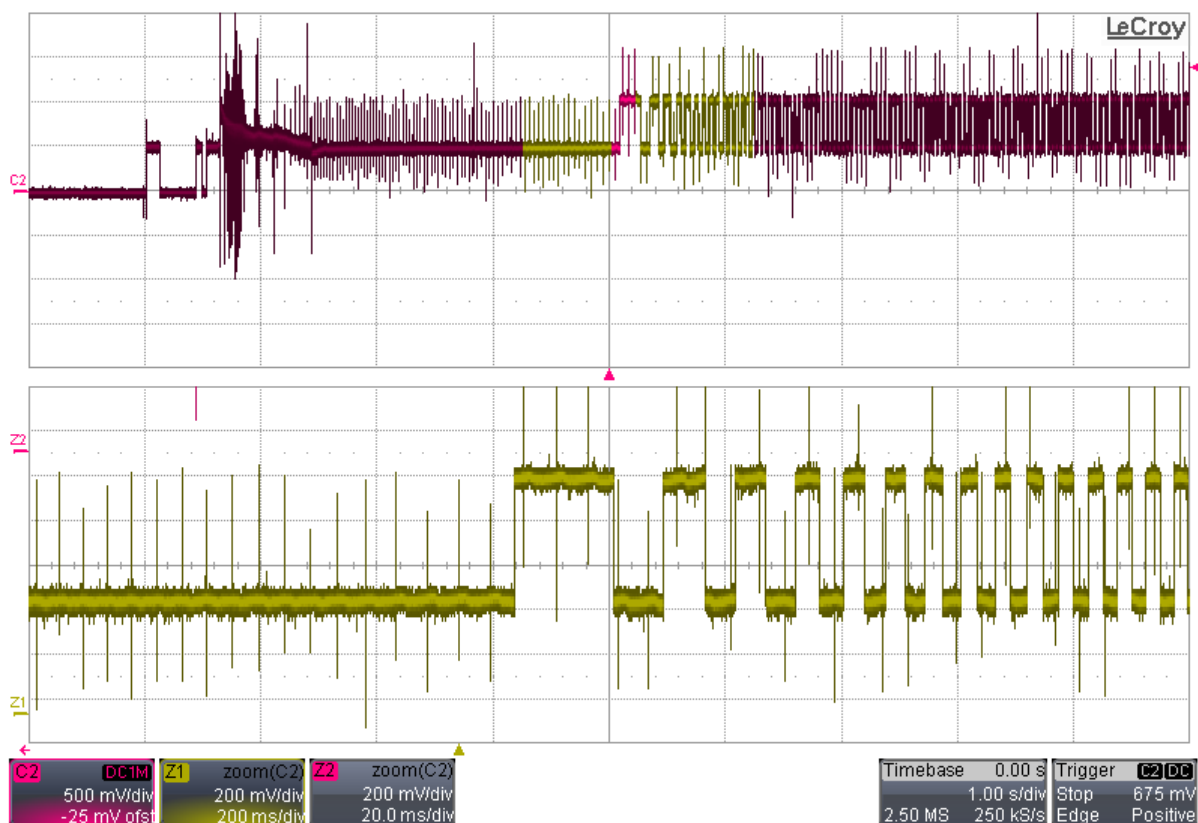
Z naměřených výstupních průběhů a vnitřního odporu snímače vyplývá, že snímač není poškozen a pracuje tedy správně.

3.2 Měření na vozidle Hyundai i30

Ve školním vozidle Hyundai i30 je standardně osazen rovněž pouze protiblokovací systém ABS. Při sériové diagnostice vozu byla zjištěna závada na řídicí jednotce ABS, která byla signalizována i na přístrojovém panelu vozu. Pro správnou funkčnost ABS byla nutná výměna za jinou, a proto bylo provedeno měření pouze na Hallovy snímačích otáček kol, které jsou sice napájeny přímo poškozenou řídicí jednotkou, ale při ověřování funkčnosti napájení voltmetrem bylo naměřeno potřebné napájecí napětí při zapnutí zapalování. Rovněž bylo provedeno měření vnitřního odporu Hallova snímače otáček, který byl $9\text{M}\Omega$. Již z takto vysoké hodnoty lze usuzovat, že se jedná o Hallův snímač otáček (indukční snímač obsahuje cívku, na které bychom naměřili mnohem menší vnitřní odpor). Snímač byl připojen pomocí dvou kabelových přípojek. Jedna sloužila jako napájecí vstup a druhá jako plusový výstup. Osciloskop byl tedy připojen na plusový vstup proti kostře vozu.



Obr. 30 Umístění snímače otáček na voze Hyundai i30 a pohled na pólový prstenec

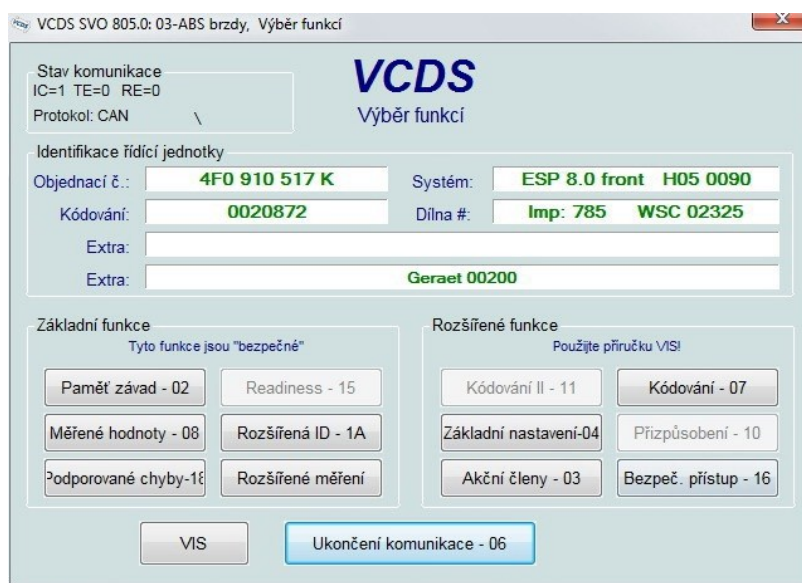


Obr. 31 Výstupní signál Hallova snímače otáček

Na rozdíl od výstupního signálu induktivního snímače otáček Hallův snímač otáček nemění velikost amplitudy výstupního signálu, ale pouze frekvenci. Výstupním signálem je pravoúhlý impulz. Na obrázku 31 je zobrazen výstupní signál takového snímače. Při rozjezdu kol se začala postupně zvyšovat frekvence signálu, tato frekvence odpovídá rychlosti otáčení mechanického dílu.

3.3 Měření na vozidle Audi A6 4F

Pro ověření vlastností snímačů, které jsou použity v systému ESP, bylo použito vozidlo Audi A6, které mělo ve standardní výbavě osazen systém ESP 8.0. Na tomto vozidle byla provedena sériová diagnostika pomocí programu VCDS 805. Při zahájení komunikace s řídicí jednotkou ESP se automaticky deaktivovaly funkce ASR a ESP, proto nebylo možné změřit zásahy při regulaci, ale pouze průběhy na osazených snímačích pro funkci ASR a ESP.



Obr. 32 Komunikace s řídicí jednotkou ESP – výběr funkcí



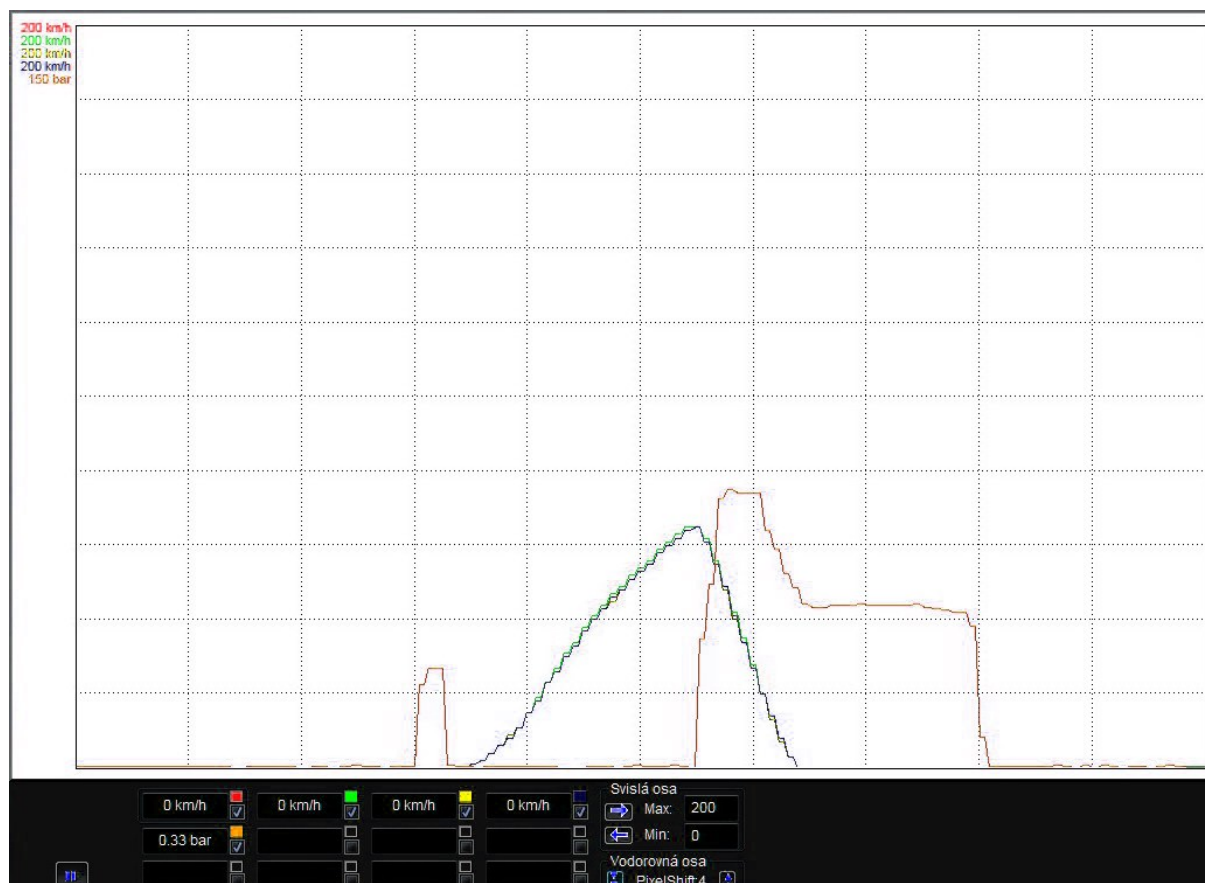
Obr. 33 Komunikace s řídicí jednotkou ESP – výpis paměti závad

Při připojení diagnostického přístroje byla nejdříve ověřena správná funkčnost systému ESP vyčtením paměti závad řídicí jednotky. Nebyla nalezena žádná chyba, která by bránila ve správné činnosti. Systém byl plně připraven.



Obr. 34 Vzhled systému ESP 8.0 ve voze Audi A6 4F

Řídící jednotka spolu s hydraulickou jednotkou a čerpadlem tvoří jeden celek. Celý systém je umístěn na levé straně vozu v motorovém prostoru, vedle nádržky pro kapalinu do ostřikovačů.

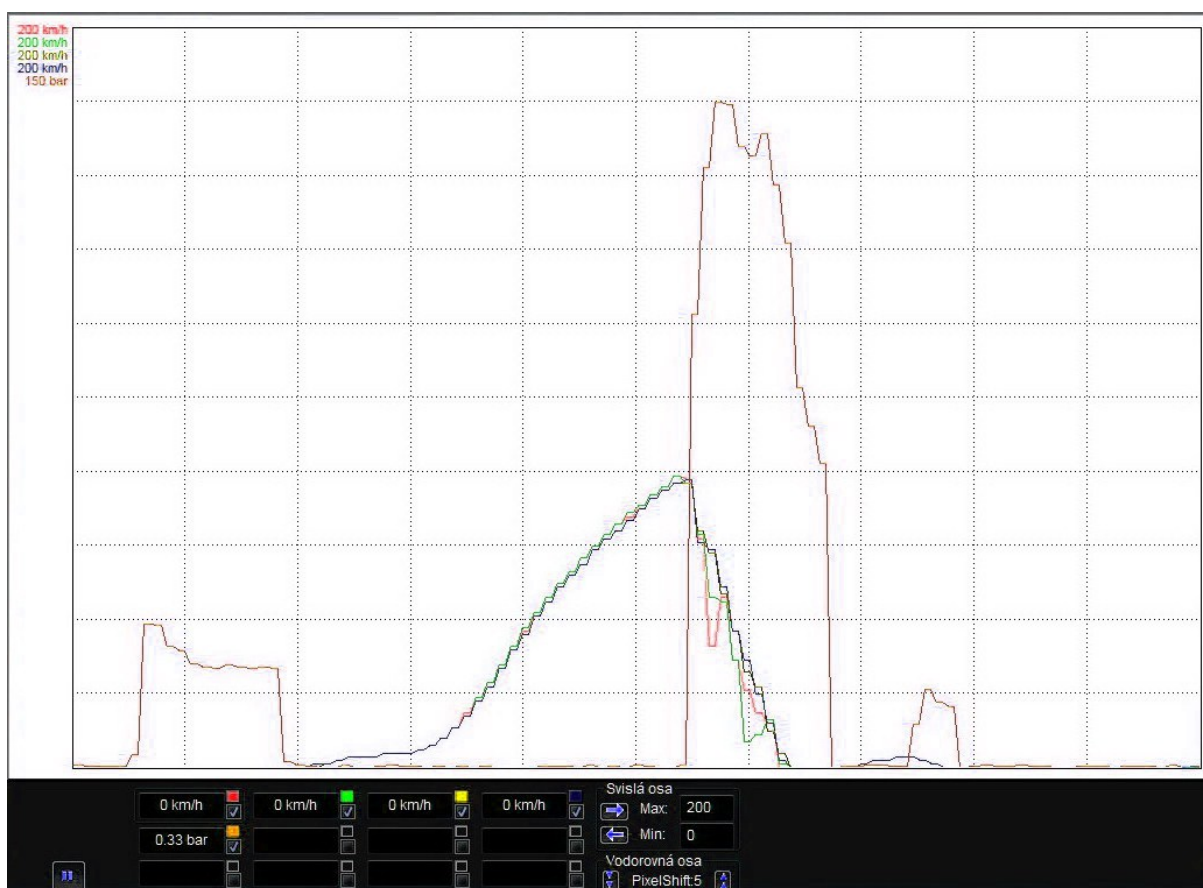


Obr. 35 Závislost rychlosti jednotlivých kol na brzděném tlaku

Legenda k obrázku 35 a 36:

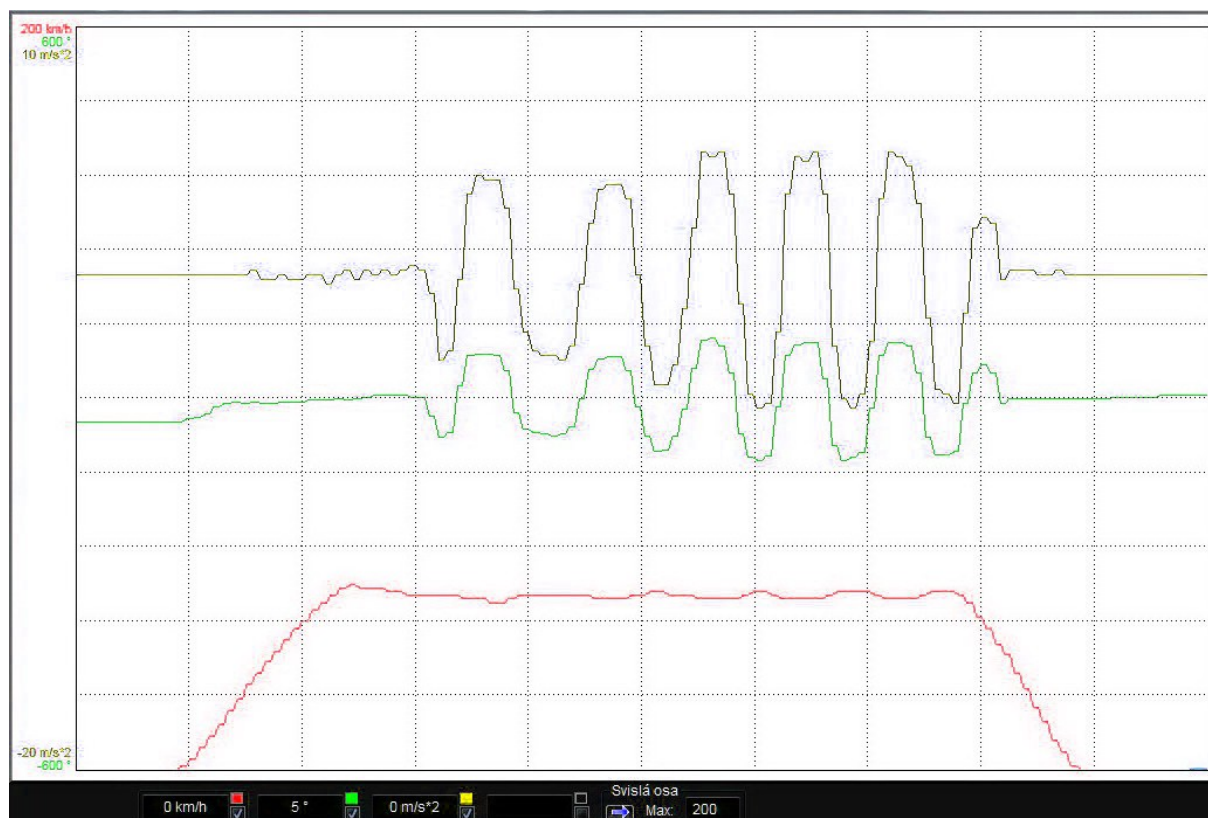
- červený a zelený průběh: rychlosti předních kol
- žlutý a modrý průběh: rychlosti zadních kol
- oranžový průběh: velikost brzdného tlaku

První změřený průběh, který je na obrázku 35, znázorňuje závislost rychlosti vozidla na brzdném tlaku při normální jízdě bez prudkého brždění. Vozidlo bylo vybaveno automatickou převodovkou, pro zařazení dopředného chodu bylo zapotřebí sešlápnout brzdový pedál, tím se v grafu skokově zvýšil brzdný tlak. Po zařazení dopředného chodu a puštění brzdového pedálu se automobil rozjel. Zvyšování rychlosti vozu je patrné z průběhů na všech čtyřech kolech. Při dosažení rychlosti cca 68 km/h byl zmáčknut pedál brzdy, čímž opět narostl brzdný tlak a zároveň se začala snižovat rychlost automobilu. Po úplném zastavení byl pedál brzdy držen ještě několik sekund a pak byl uvolněn.



Obr. 36 Průběhy ze snímačů rychlosti a brzdného tlaku – zásah ABS

Pro nasimulování zásahu ABS bylo nutno zopakovat stejné měření s tím rozdílem, že byl vygenerován podstatně větší brzdný tlak (silné sešlápnutí brzdového pedálu). Počátek průběhu je shodný s předchozím průběhem s tím rozdílem, že nyní bylo vozidlo bržděno z rychlosti cca 80 km/h. Při sešlápnutí brzdového pedálu došlo k vygenerování velkého brzdného tlaku. Při brždění silně kolísala rychlost na předních kolech, což je patrné ze skoků červeného a zeleného průběhu. Zároveň s tím kolísala i brzdý tlak. Je tedy zřejmé, že docházelo k zásahu systému ABS.

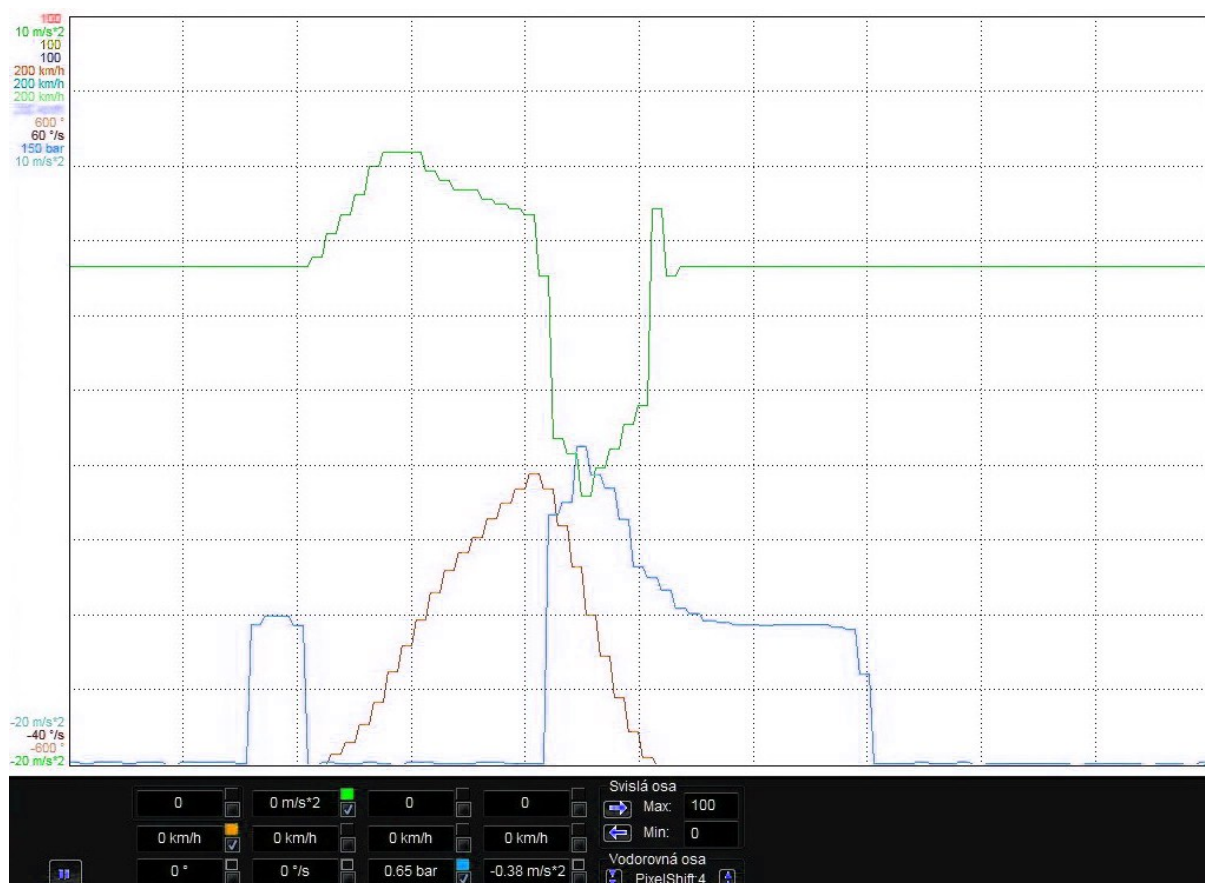


Obr. 37 Průběhy ze snímače rychlosti, úhlu natočení volantu a bočního zrychlení

Legenda k obrázku 37:

- žlutý průběh: velikost bočního zrychlení
- zelený průběh: velikost úhlu natočení volantu
- červený průběh: rychlost na levém předním kole

Jelikož další systémy aktivní bezpečnosti (ASR, ESP) byly následkem připojení diagnostického přístroje odpojeny, bylo provedeno pouze ověření výstupních signálů ze snímačů úhlu natočení volantu, bočního a podélného zrychlení. Brzdný tlak již nebyl měřen. Na obrázku 37. je zobrazena závislost bočního zrychlení na úhlu natočení volantu při konstantní rychlosti 50 km/h. Z průběhu je tedy patrné, že byla prokázána správná funkčnost měřených snímačů.



Obr. 38 Průběhy ze snímače rychlosti, brzdného tlaku a podélného zrychlení.

Legenda k obrázku 38:

- zelený průběh: velikost podélného zrychlení
- oranžový průběh: rychlost na levém předním kole
- modrý průběh: velikost brzdného tlaku

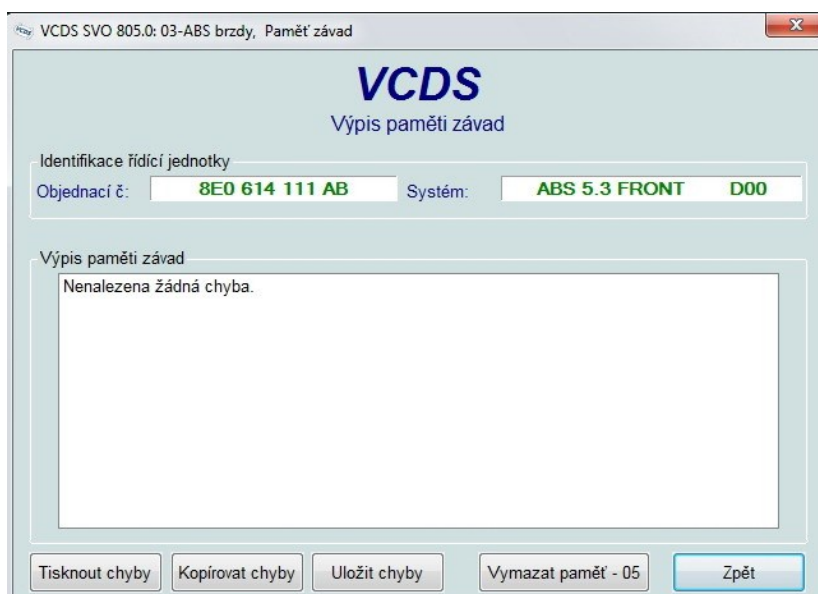
Posledním měřením byla ověřena správná funkčnost snímače podélného zrychlení. Při rozjíždění automobilu bylo naměřeno kladné podélné zrychlení a při brždění bylo naměřeno záporné podélné zrychlení. Závislost podélného zrychlení na rychlosti a brzdém tlaku je zobrazena na obrázku 38.

3.4 Měření na vozidle Audi A4 B5

Další měření, které probíhalo na vozidle Audi A4, bylo provedeno rovněž pomocí sériové diagnostiky. Vozidlo bylo vybaveno pouze systémem ABS 5.3, a proto obsahovalo pouze snímače otáček kol. Informace o typu, objednacím čísle a kódování jednotky jsou zobrazeny na obr. 39.



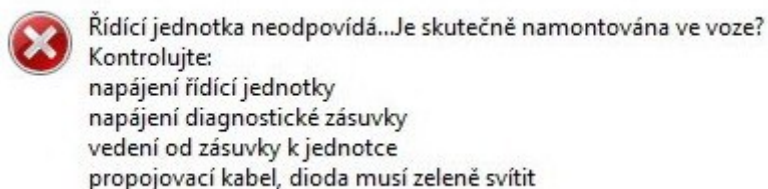
Obr. 39 Komunikace s řídicí jednotkou ABS – výběr funkcí



Obr. 40 Komunikace s řídicí jednotkou ABS – výpis paměti závad

Bylo provedeno čtení paměti závad řídicí jednotky ABS. Systém nehlásil žádnou závadu a pracoval bez chyb.

Po přečtení závad a tím ověření funkčnosti systému, bylo provedeno spojení s řídicí jednotkou ABS a čtení měřených hodnot. Při tom se na přístrojové desce rozsvítila kontrolka ABS, a tím byla funkce ABS vyřazena z provozu po dobu připojení diagnostického přístroje. Po rozjezdu vozu a překročení rychlosti 20 km/h systém automaticky odpojil z bezpečnostních důvodů diagnostický přístroj a systém ABS byl znovu aktivován. Kvůli tomuto chování nebylo možné tedy provést měření průběhu ze senzorů snímačů otáček kol.



Obr. 41 Chyba komunikace s řídicí jednotkou ABS při rychlosti nad 20 km/h



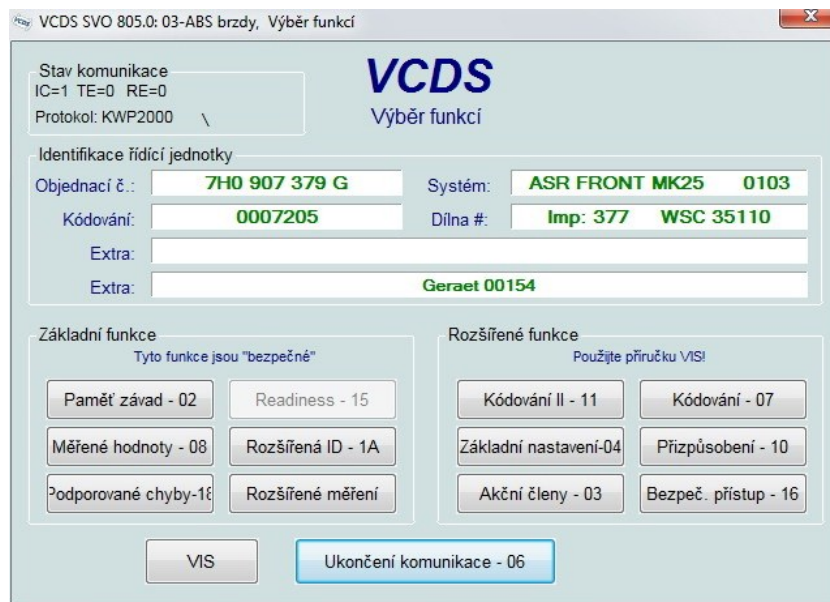
Obr. 42 Vzhled systému ABS 5.3 ve voze Audi A4 B5

Systém ABS je umístěn na levé straně v motorovém prostoru vozidla. Jedná se o systém ABS 5.3, kde hydraulická jednotka s DC motorem a řídicí jednotkou ABS tvoří jeden celek. Přípojky hydraulického vedení jsou vidět na levé straně obrázku a přípojky do řídicí jednotky jsou vidět na pravé straně obrázku.

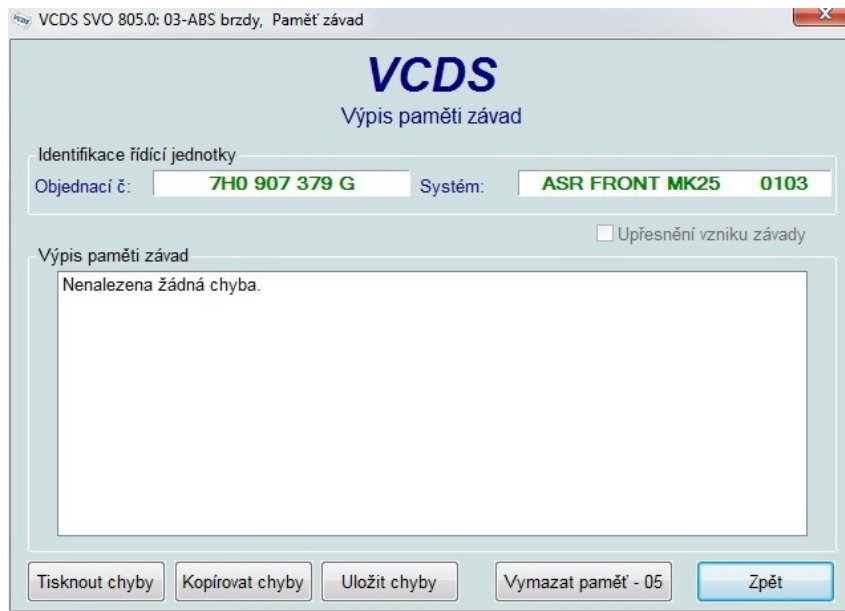
Vzhledem ke skutečnosti, že byl odpojován diagnostický přístroj při pohybu vozidla, nebylo na tomto vozidle prováděno žádné další měření.

3.5 Měření na vozidle VW Transporter T5

Jako poslední bylo provedeno měření na vozidle VW Transporter T5 pomocí sériové diagnostiky. Vozidlo bylo vybaveno od výroby systémem ABS/ASR. Bohužel po připojení diagnostického přístroje se oba tyto systémy deaktivovali z bezpečnostních důvodů, a tak ani zde nebylo možné měřit regulační zásahy těchto systémů.

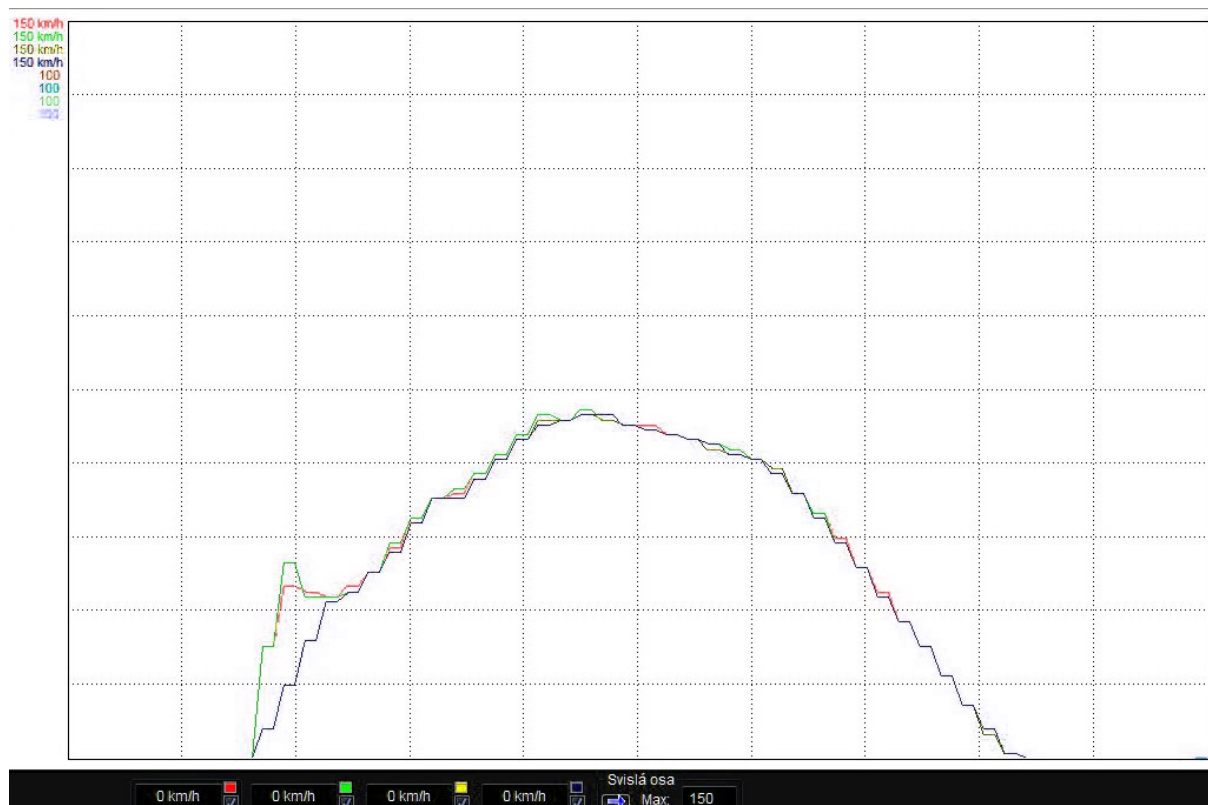


Obr. 43 Komunikace s řídicí jednotkou ASR – výběr funkcí



Obr. 44 Komunikace s řídicí jednotkou ASR – výpis paměti závad

Jako u ostatních vozidel, tak i u vozidla VW Transporter bylo nejprve provedeno vyčtení paměti závad řídicí jednotky ABS/ASR a ani zde nebyla nalezena žádná chyba.



Obr. 45 Průběh rychlostí na jednotlivých kolech

Legenda k obrázku 45:

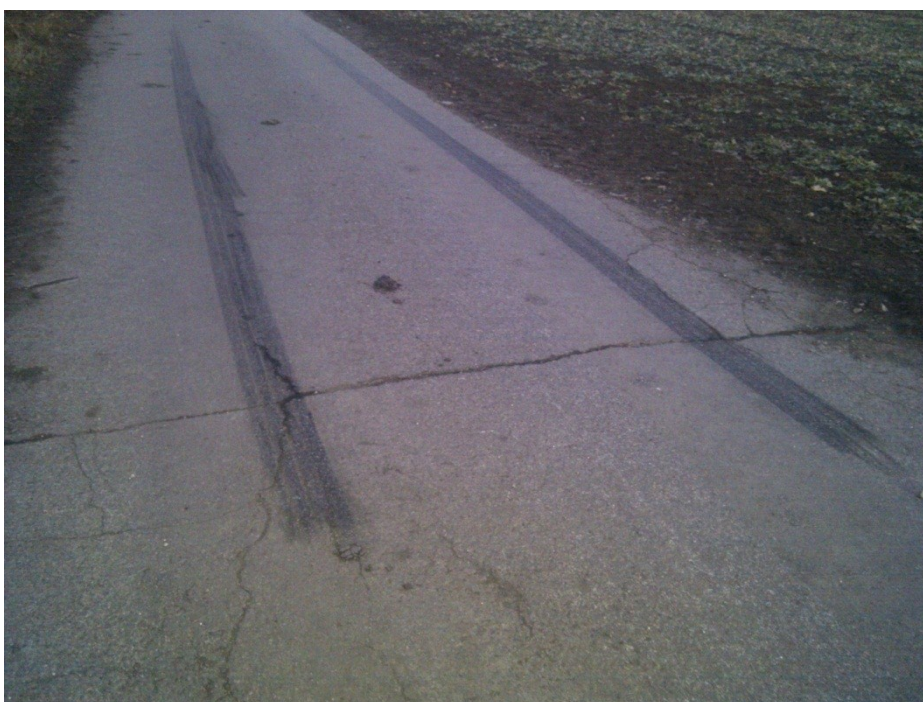
- červený a zelený průběh: rychlost na předních kolech
- žlutý a modrý průběh: rychlost na zadních kolech

Jelikož vozidlo dovoľovalo změřit pomocí sériové diagnostiky pouze průběhy rychlostí na čtyřech snímačích otáček kol, bylo provedeno pouze jedno měření a to při prudké akceleraci s prokluzem předních kol. Z obrázku je patrné, že při rozjezdu byla na předních kolech zaznamenána mnohem větší rychlost než na zadních kolech. Bylo to způsobeno jejich prokluzem. Při zjištění prokluzu zasahovala řídící elektronika systému ASR, která buď pomocí systému motronic upravila hnací moment nebo aktivním zásahem pomocí brzd zpomalila přední kola.

Při připojení diagnostického přístroje byla deaktivována funkce ABS a ani při větších rychlostech nebyla tato funkce obnovena. Bylo proto využito tohoto výhodného chování pro znázornění brzdné dráhy stejného vozu se systémem ABS a bez systému ABS.



Obr. 46 Brzdná dráha vozidla VW Transporter se zapnutým systémem ABS.



Obr. 47 Brzdná dráha vozidla VW Transporter s vypnutým systémem ABS.

Ze dvou výše uvedených obrázků je patrný přínos systému ABS. Pokud má vozidlo připojen systém ABS, jeho brzdná dráha se zkracuje, toto je uvedeno i v teoretické části. Další přínosem je ale rovněž výrazné snížení opotřebování pneumatik a možnost manévrování při brždění.



Obr. 48 Vzhled systému ASR ve voze VW Transporter T5

Systém ABS/ASR je ve vozidle VW Trasporter umístěn na levé části v motorovém prostoru. Rovněž jako u vozů Audi A6 a Audi A4 je celý systém tvořen jedním celkem. Můžeme si zde všimnout pouze odlišné pozice montáže (nastojato), která ale nemá na funkci ABS/ASR žádný vliv.

4. Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval nejrozšířenějšími a nejběžnějšími aktivními asistenčními systémy jako jsou protiblokovací systém ABS, protiprokluzová regulace ASR a elektronický stabilizační program ESP. Bakalářská práce je rozdělena tak, že každá kapitola se zabývá jedním kompletním asistenčním systémem, jeho popisem, principem činnosti, dílčími členy, historií, potřebnými snímači a akčními členy. Poslední kapitola je věnována základnímu popisu novějších typů asistenčních systémů a budoucímu vývoji.

V praktické části této práce byly ověřeny pomocí sériové a paralelní diagnostiky vlastnosti vybraných snímačů pro asistenční systémy a bylo ověřeno chování systému ABS ve vozidle Audi A6 4F. Pomocí paralelní diagnostiky byl změřen výstupní signál indukčního snímače ve vozidle Škoda Octavia a Hallova snímače ve vozidle Hyundai i30. Z výsledných průběhů byla prokázána správná funkčnost těchto snímačů. Dále byla provedena sériová diagnostika vozidel Audi A4 B5, Audi A6 4F a VW Transporter T5. Čtení paměti závad u všech vozidel prokázalo správnou funkčnost osazených aktivních asistenčních systémů. Pro ověření vlastností aktivních asistenčních systémů bylo potřeba, aby vozidlo bylo v pohybu a zároveň bylo připojeno na sériovou diagnostiku. Bohužel tato kombinace byla možná pouze ve vozidle Audi A6 4F, ale pouze s tím, že fungoval jen systém ABS. Další systémy jako jsou ASR a ESP byly z bezpečnostních důvodů automaticky deaktivovány. Podobná situace se opakovala i u vozidel Audi A4 B5 a VW Transporter T5, kde po připojení sériové diagnostiky byly automaticky deaktivovány funkce ABS i případně ASR. Vozidlo Audi A4 B5 se navíc odpojovalo od diagnostického zařízení, jakmile se začalo pohybovat rychlostí nad 20 km/h. Díky výhodnému chování vozidla VW Transporter T5, kdy se diagnostické zařízení neodpojilo po rozjezdu vozu, bylo ověřeno chování vozidla s vypnutým a zapnutým systémem ABS. Součástí bakalářské práce jsou všechny změřené průběhy pomocí sériové a paralelní diagnostiky a obrázky skutečných asistenčních systémů ve vozidle Audi A4 B5, Audi A6 4F a VW Transporter T5.

5. Použité zdroje a citace

- [1] VÁŇA, Petr. *Škoda techweb* [online]. 27.9.2001 [cit. 2011-02-05]. Vše o brzdách. Dostupné z WWW: <<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=312>>.
- [2] *Autolexicon.net* [online]. 16.1.2009 [cit. 2011-02-05]. ABS (Anti-lock Braking System). Dostupné z WWW: <<http://cs.autolexicon.net/articles/abs-anti-lock-braking-system>>.
- [3] BUREŠ, Václav. *Elektronika brzd ABS* [online]. Holice, 2009. 34 s. Příspěvek do soutěže. Střední škola automobilní. Dostupné z WWW: <<https://socv2.nidm.cz/archiv31/getWork/hash/d984e964-6693-102c-aea7-001e6886262a>>.
- [4] JIČÍNSKÝ, Štěpán. *Osciloskop a jeho využití v autoopravářské praxi*. Vyd. 1. Praha: Grada Publishing, a.s., 2006. 238 s. ISBN 80-247-1417-5.
- [5] *Http://repairpal.com* [online]. 2011 [cit. 2011-02-05]. Auto Repair Encyclopedia. Dostupné z WWW: <<http://repairpal.com/abs-wheel-speed-sensor>>.
- [6] HLADÍK, Jaroslav. *H-diag.cz* [online]. 27.8.2008 [cit. 2011-02-06]. BRZDOVÉ SNÍMAČE ABS. Dostupné z WWW: <<http://www.h-diag.cz/news/brzdove-snimace-abs/>>.
- [7] VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel 2*. Vyd.1. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2002. 592 s. ISBN 80-238-7282-6.
- [8] *AUTOEXPERT: časopis profesionálů v autoopravářství*. Praha: Autopress, s.r.o., 2008-. Vychází měsíčně. ISSN 1211-2380
- [9] *Robert Bosch GmbH* [online]. Verze 1.0. 16.1.2009 [cit. 2011-02-12]. Traction Control System TCS. Dostupné z WWW: <http://rb-kwin.bosch.com/en/safety_comfort/drivingsafety/abs/tcs.html>.
- [10] WIESINGER, Johannes. *Kfztech.de* [online]. 12.1.2011 [cit. 2011-02-12]. Elektronisches Stabilitätsprogramm ESP®. Dostupné z WWW: <<http://www.kfztech.de/kfztechnik/sicherheit/ESP.htm>>.
- [11] *Motofocus.eu* [online]. 2009 [cit. 2011-02-13]. Nové systémy Bosch ABS/ESP® 9. generace. Dostupné z WWW: <<http://www.cz.motofocus.eu/novinky,5470,nov-systmy-bosch-abs-esp-9-generace.html>>.
- [12] *autorevue.cz*. *Autorevue.cz* [online]. 7.7.2005 [cit. 2011-02-13]. ÚAMK: Víte, co znamená ESP?. Dostupné z WWW: <<http://www.autorevue.cz/uamk-vite-co-znamená-esp>>.
- [13] *Mercedes-fans.de* [online]. 16.2.1009 [cit. 2011-02-19]. März 1994: Mercedes-Benz präsentiert ESP® der Weltöffentlichkeit. Dostupné z WWW: <http://www.mercedes-fans.de/tuning/tuning_artikel/id=79>.
- [14] Volkswagen AG. *Study programme No. 204*. [Wolfsburg] : Volkswagen AG., 2001. 35 s.
- [15] DIPL.-ING. JOACHIM BERGER, Dr.-Ing. Erich Zabler, et al. *Snímače v motorových vozidlech*. Vyd. 1. Praha 4 : Robert Bosch odbytová s.r.o., 2003. 148 s. ISBN 80-903132-5-6.
- [16] ŠKODA AUTO a.s. *Škoda Octavia : ESP - základy, konstrukce, funkce*. Praha 4 : [ŠKODA AUTO a.s.], 2001. 43 s.

[17] DR.-ING. RAINAR ERHARDT, Dr.-Ing. Anton van Zanten, et al. *Regulace jízdní dynamiky ESP*. Vyd. 1. Praha 4 : Robert Bosch odbytová s.r.o., 2001. 63 s. ISBN 80-902585-8-1.

[18] *Carmotor.cz* [online]. 19.7.2008 [cit. 2011-04-08]. Asistenční systém řidiče čili "virtuální spolujezdec". Dostupné z WWW: <<http://www.carmotor.cz/magazin/pages/asistencni-system-ridice-virtualni-spolujezdec,22.html>>.

[19] KRIZNIK, Pavel. *Http://audiklub.cz* [online]. 9.11.2009 [cit. 2011-04-08]. EDS. Dostupné z WWW: <<http://audiklub.cz/techwiki/eds>>.

[20] KRIZNIK, Pavel. *Http://audiklub.cz* [online]. 9.11.2009 [cit. 2011-04-08]. XDS. Dostupné z WWW: <<http://audiklub.cz/techwiki/xds>>.

[21] PECÁK, Radek. *Http://auto.aktualne.centrum.cz* [online]. 19.5.2010 [cit. 2011-04-08]. Systém XDS je další v řadě elektronických pomocníků. Dostupné z WWW: <<http://auto.aktualne.centrum.cz/clanek.phtml?id=668634>>.

[22] *Carmotor.cz* [online]. 23.5.2008 [cit. 2011-04-08]. Asistenční systémy řidiče. Dostupné z WWW: <<http://www.carmotor.cz/magazin/pages/Auta-budou-jiz-zanedlouho-videt-do-vsech-stran,328.html>>.